

Pro gradu -tutkielma
Maantiede
Luonnonmaantiede

RAPSISTA TUOTETUN BIODIESELIN JA VEHNÄSTÄ TUOTETUN BIOETANOLIN
ENERGIAVIRRRAT JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET EUROOPAN UNIONISSA

Mikko Ristimäki

2008

Ohjaajat:

Olli Ruth - Helsingin yliopisto
Ilkka Kruus - Kemira GrowHow

HELSINGIN YLIOPISTO
MAANTIETEEN LAITOS

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)
00014 Helsingin yliopisto

1. Johdanto.....	1
1.1 Termit ja käsitteet.....	1
1.2 Biopolttoaineet maaöljyn vaihtoehdoksi.....	4
1.3 Ensimmäisen ja toisen sukupolven biopolttoaineet.....	9
1.3.1 Nykyinen tilanne, teknologiat ja raaka-aineet.....	9
1.3.2 Toisen sukupolven biopolttoaineet ja teknologiat.....	10
1.4 Tutkimusongelmat.....	12
2. Biopolttoaineiden valmistus.....	12
2.1 Raaka-aineet.....	13
2.1.1 Biodiesel.....	13
2.1.2 Bioetanoli.....	15
2.2 Valmistusprosessit.....	17
2.2.1 Biodiesel.....	17
2.2.1.1 Vaihtoesteröintimenetelmä.....	17
2.2.1.2 Kasviöljyn suorakäyttö.....	19
2.2.1.3 Vedytysmenetelmä.....	20
2.2.2 Bioetanoli.....	23
2.2.2.1 Valmistus sokeri- ja tärkkelyspitoisista raaka-aineista.....	23
2.2.2.2 Valmistus biomassasta.....	25
2.3 Käyttöteknologiat ja – kohteet.....	26
3. Ympäristö.....	29
3.1 Ilmasto.....	29
3.2 Viljelyn vaikutukset.....	32
3.3. Jalostus ja kokonaisvaikutukset.....	34
4. Menetelmät.....	36
4.1 Tutkimusmenetelmät.....	36
4.2 Lähtöaineisto.....	37
5. Life Cycle Assesment.....	38
5.1 Kokonaisenergia.....	39
5.2 Sivuenergiavirrat.....	40
5.2.1 Olki.....	40
5.2.2 Rehu ja proteiini.....	42
5.2.3 Kuljetus ja muu infrastruktuuri.....	43

5.2.4 Lannoitus.....	44
5.3 Energiatehokkuus.....	45
6. EU ja biopolttoaineet Euroopassa.....	45
6.1 EU.....	45
6.1.1 Strategia.....	49
6.1.2 Hyötyjen ja uhkakuvien arviointi.....	49
6.1.3 Tuotanto, sen riittävyys ja kuljetus kolmansilta alueilta.....	50
6.2 Case study: Bioetanolin tuotanto vehnästä Tanskassa.....	56
6.2.1 Energiapanostus ja sen jakautuminen.....	59
6.2.2 Tuotantoprosessi.....	61
6.2.3 Energian tuotto/kulutussuhde.....	64
6.2.4 Yhteenveto.....	68
6.3 Case study: Iso-Britannia: Bioetanoli vehnästä ja biodiesel rapsista.....	68
6.3.1 Biodiesel.....	69
6.3.2 Bioetanoli.....	71
6.4 Case study: Biodiesel Saksassa ja Ranskassa rapsista.....	74
6.5 Case study: Bioetanoli Espanjassa vehnästä.....	76
7. Biopolttoaineet globaalisti.....	77
7.1 Biopolttoaineet Pohjois-Amerikka.....	77
7.2 Biopolttoaineet Brasiliassa.....	80
7.3 Palmuöljyä Aasiasta.....	83
8. Johtopäätökset.....	84
9. Yhteenveto.....	93
Lähteet.....	95

1. Johdanto

1.1 Termit ja käsitteet

Bioraaka-aineista voidaan valmistaa useita eri liikennepolttoaineita, joista tavallisimmat vaihtoehdot ovat:

- biodiesel (FAME, kasviöljyjen esterit)
- alkoholit (etanoli, metanoli)
- bioalkoholeista tuotetut eetterit kuten MTBE ja ETBE (bio-osuus < 100 %)
- biokaasut
- synteettiset polttoaineet, esim. Fischer-Tropsch-polttoaine, dimetyylieetteri (DME)

Työssäni käsiteltäviä liikennekäytössä olevia polttoaineita edustavat biodiesel sekä bioetanoli, joista biodieselin kohdalla keskitytään rapsiperäiseen ja bioetanolin tapauksessa vehnäperäiseen lopputuotteeseen. Bioetanoli ja biodiesel ovat tärkeimmät ja käytännössä ainoat ensimmäisen sukupolven biopolttoaineet, joilla on kaupallista merkitystä. Vaikka biopolttoaineet ovat ajankohtainen ja paljon käsitelty aihe, niiden tarkat määritelmät ovat usein epäselviä. Termien määrittelyssä on käytetty samoja kriteerejä kuin EU:n biopolttoainedirektiivissä (2003/30/EC), jos toisin ei mainita. Tärkeimpiä määritelmällisiä tekijöitä on se, että biopolttoaineista puhuttaessa tarkoitetaan ensisijaisesti liikennekäyttöön tarkoitettuja polttoaineita. Vaikka EU:n määritelmä on yksiselitteinen, esiintyy tutkimuksissa, artikkeleissa ja muussa mediassa paljon erilaisia määritelmiä termille biopolttoaine. Usein näkee ja kuulee kaikkia biomassasta valmistettuja polttoaineita kutsuttavan biopolttoaineiksi, vaikka niiden käyttökohteet olisivat liikenteen sijasta esimerkiksi sähkön tai lämmön tuotannossa. Puhekielessä ja jopa joissain kirjallisissa lähteissä turve nostetaan usein biopolttoaineeksi vaikka sen määrittely edes uusiutuvaksi polttoaineeksi on kiistanalaista.

Tutkielmassa on käytetty biopolttoaineista seuraavia määritelmiä ja lyhenteitä.

biodiesel: Termi biodiesel on yleisnimitys biopohjaiselle dieselpolttoaineelle, joka on tuotettu eloperäisistä kasvi- tai eläinöljyistä ja rasvoista. Olennainen käytännön kriteeri biodieselin määritelmä on, että käytettävää öljyä voidaan ilman suurempia muutostöitä käyttää dieselmoottorissa.

bioetanoli: Etanolia, joka on valmistettu biomassasta ja/tai eloperäisestä jätteestä ja jota käytetään biopolttoaineena.

biopolttoaineet: Biomassasta tuotettuja nestemäisiä tai kaasumaisia liikennepolttoaineita.

EN 14214: Jotta esteröimällä valmistettua öljyä voidaan kutsua biodieseliksi, sen täytyy täyttää standardin EN 14214 vaatimukset. Muutamissa Euroopan maissa, mm. Itävallassa ja Ruotsissa on olemassa oma, kansallinen biodieselstandardi, joka kuitenkin mukailee yleiseurooppalaista EN 14214-standardia. EN 14214 - standardia ollaan uusimassa, koska nykyinen perustuu pääosin rapsipohjaiseen öljyyn eikä sovellu täysin esimerkiksi esteröidylle eläinrasvabiodieselille. Standardi määrittelee tiettyjä ominaisuuksia, kuten leimahduspisteen, viskositeetin, jäännösmetanolin määrän ja tiheyden.

EU25: Biopolttoainetilastoissa esiintyvä määritelmä EU:n jäsenvaltioista, johon kuuluvat Belgia, Tsekin tasavalta, Tanska, Saksa, Viro, Kreikka, Espanja, Ranska, Irlanti, Italia, Kypros, Latvia, Liettua, Luxemburg, Unkari, Malta, Alankomaat, Itävalta, Puola, Portugali, Slovenia, Slovakia, Suomi, Ruotsi ja Iso-Britannia.

kasvihuonekaasut: Varsinaisia kasvihuonekaasuja ovat vesihöyry, hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4), dityppioksidi (N_2O), F-kaasut (HFC- ja PFC-yhdisteet sekä rikkiheksafluoridi SF_6). Myös alailmakehän otsoni (O_3) ja aiemmin runsaasti käytetyt halogenoidut hiilivedyt (lähinnä CFC- ja HCFC-yhdisteet) ovat kasvihuonekaasuja. Välillisiä kasvihuonekaasuja ja -yhdisteitä ovat haihtuvat hiilivedyt (VOC), typen oksidit (NO_x) ja hiilimonoksidi (CO).

kasviöljy: Kasveista puristamalla tai vastaavalla menetelmällä saatu, raaka- tai jalostettu öljy, joka kemiallista rakennetta muuttamatta on käytettävissä moottoreissa.

muut uusiutuvat polttoaineet: EU- direktiivin 2001/77/EC määrittelyn mukaisesti biopolttoaineisiin lukeutumattomat, uusiutuvista energianlähteistä valmistetut liikennepolttoaineet.

NExBTL: Next Generation Biomass to Liquid. NExBTL -dieseliä voidaan valmistaa lähes mistä tahansa kasviöljystä ja eläinrasvasta. Nykyisin käytössä olevat esteröimällä valmistettavat biodieselit perustuvat kapeampaan raaka-ainepohjaan, lähinnä rypsiin ja rapsiin. NExBTL sopii sellaisenaan nykyisen dieselautokannan polttoaineeksi ja jaettavaksi dieselpolttoaineen jakelujärjestelmissä. NExBTL -diesel on rikki- ja aromaattivapaa, se sietää hyvin kylmiä lämpötiloja ja sen liukoisuus veteen matala. NExBTL on Nesteen oma tuotemerkki.

Polttoaineiden lyhenteet:

(bio)-ETBE: etyyli-tertiääri-butyylieetteri on bioetanoliin pohjautuva korkeaoktaaninen bensiinin lisäaineena käytettävä oksygenaatti. ETBE: n käytön tarkoituksena on parantaa bensiinin palamista ja vähentää syntyneitä päästöjä. ETBE -bensiniin etuja ovat muun muassa matala rikkipitoisuus, matala aromaattipitoisuus, matala höyrynpaine ja korkea oktaaniluku.

FAME: (Fatty Acid Methyl Esters) rasvahappojen metyyliesterit

B2, B5, B20, B100: biodieselin ja maaöljypohjaisen dieselin seoksia. Luku ilmoittaa biodieselin osuuden, esimerkiksi B2 sisältää biodieseliä kaksi tilavuusprosenttia ja mineraalidieseliä 98 tilavuusprosenttia.

DME: dimetyylieetteri, normaalilämpötilassa ja -paineessa kaasumainen dieselmootoreihin soveltuva polttoaine

etanoli: EtOH

E85: etanolin ja bensiinin seos, sisältää etanolia 85 tilavuusprosenttia ja bensiiniä 15 tilavuusprosenttia.

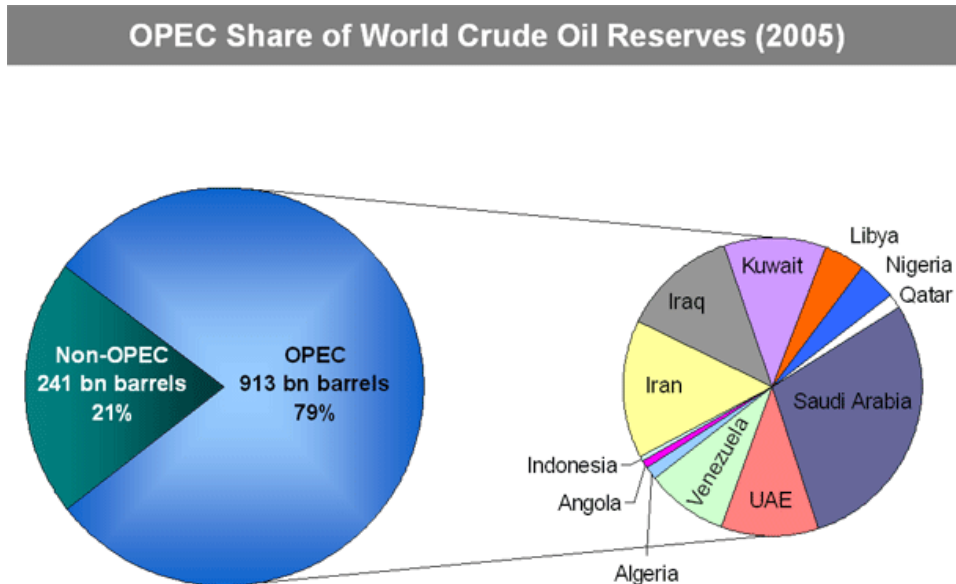
metanoli: MeOH

RME: rapsimetyyliesteri (rapsistä tai rypsistä valmistettu biodiesel)

1.2 Biopolttoaineet maaöljyn vaihtoehdoksi

Uudelleen 2000-luvun alussa herännyt kiinnostus biopolttoaineita kohtaan johtaa juurensa pohjimmitaan maailman öljyvaroihin ja niiden niukkuuteen. Maailman energian kulutuksesta arvioitiin vuonna 2005 perustuvan noin 86 % fossiilisille polttoaineilla ja noin 36,8 % yksistään öljylle (IEA 2007b). Helposti hyödynnettävissä olevat öljyvarat ovat supistumassa, mutta maailmanlaajuisessa kulutuksessa ei näy vähenemisen merkkejä ja toisaalta esimerkiksi Kiinan ja Intian öljynkulutus on voimakkaassa kasvussa sitoutuneena

maiden talous- ja väestönkasvuun. Kiinnostus maaöljyn korvaaviin energianlähteisiin juontaa osittain myös jäljellä olevien ja suhteellisen helposti hyödynnettävien öljyvarojen suuresta keskittymisestä Lähi-itään, jonka poliittinen ja sotilaallinen tilanne on vaikeasti ennustettavissa pitemmällä aikavälillä (kuva 1).

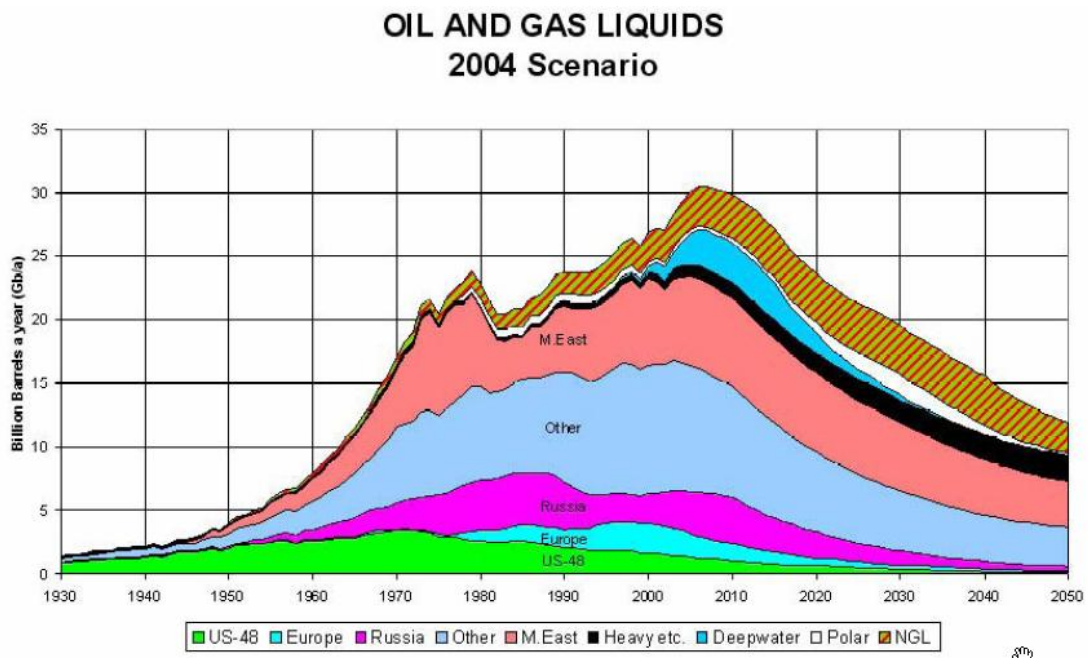


Kuva 1. Maailman öljyvarantojen jakautuminen (OPEC 2007).

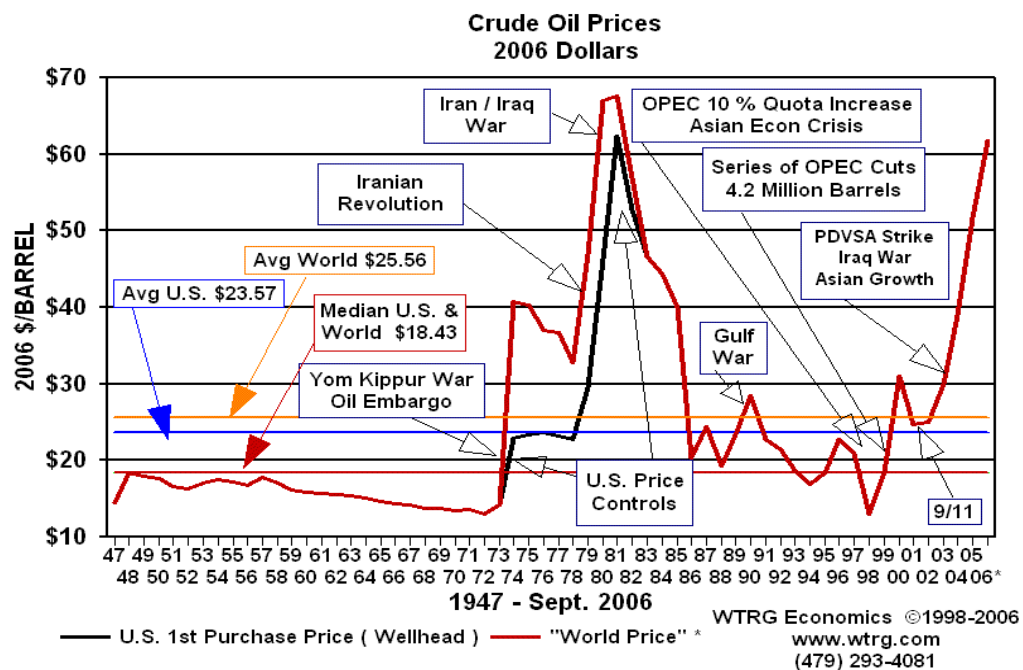
Öljynjalostuskapasiteetti on nykyisin ajettu äärirajoilleen ja investointihalukkuus perinteisiin jalostamoihin on laantunut. Yhdysvaltojen öljyvarastojen tuntuva kasvukaan ei ole totuttuun tapaan vaikuttanut öljyn maailmanmarkkinahintaan alentavasti. Raakaöljyn korkea hinta on houkutellut markkinoille perinteisten toimijoiden rinnalle uusia sijoittajia ja spekulatiivista kysyntää. Tämä vaikutus saattaa konkretisoitua merkittävänä hintaheilahteluna, jos hinnat kääntyvät laskuun. Maailmanmarkkina hinta poikkeaa vielä merkittävästi tuotantokustannuksista, joten on oletettavaa, että hinta tulee elämään jatkossakin molempiin suuntiin. Pitkäaikaiseen ja tuntuvaan hinnan alenemiseen raakaöljyn kohdalla ei kuitenkaan laajasti uskota. (Laaksonen 2006; Nupponen 2006). Koska nykyiset tuotantomäärät eivät todennäköisesti kasva enää merkittävästi tai kääntyvät loivaan laskuun on piakkoin otettava käyttöön uusia öljyn lähteitä, esimerkiksi raskaita öljylaatuja ja öljyhiekkoja. Pidemmällä aikajänteellä nestemäisiä polttoaineita tuotetaan

kivihiilestä, jolloin tuotantokustannukset ovat merkittävästi, kuin liikennepolttoaineiden valmistus maaöljystä (Mäkinen et al 2005.).

Joidenkin näkemysten mukaan maailman öljyntuotanto on jo käytännössä saavuttanut huippunsa ja öljyn hinta tulee jatkamaan nousuaan tulevaisuudessa (kuvat 2 & 3).



Kuva 2. Skenaario maailman öljyn tuotannon kehittymisestä (Campbell 2004).



Kuva 3. Öljyn hintakehitys (WTRG Economics 2008).

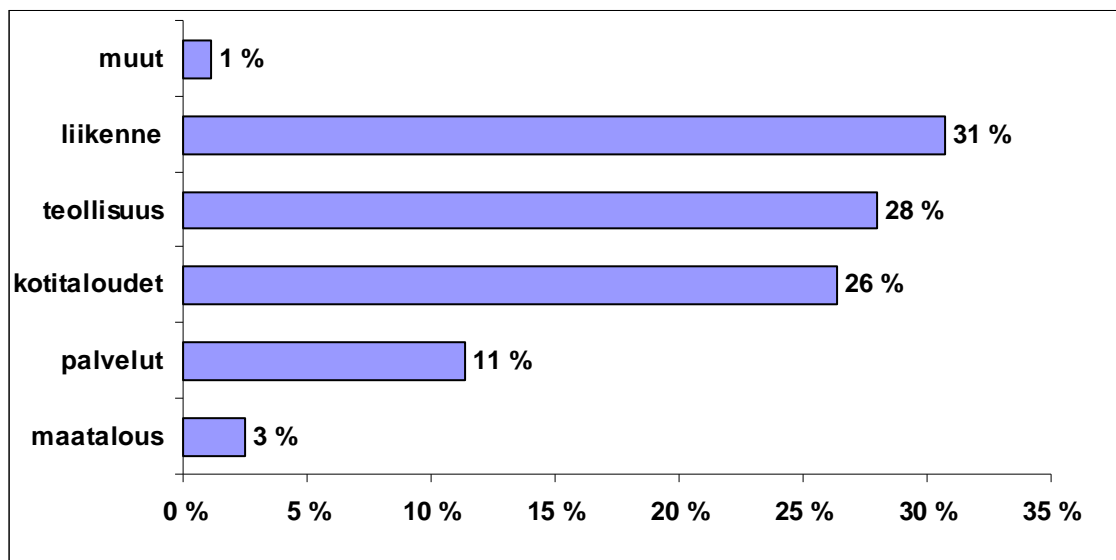
Öljylle vaihtoehtoiset liikennepolttoaineet eivät ole uusi keksintö vaan niitä on käytetty ja kehitetty jo pitkään. Jo Rudolph Diesel käytti moottorissaan maapähkinäöljyä ja ennakoi aikanaan biopolttoaineiden nousevan merkittävään asemaan. Toinen autoalan uranuurtaja Henry Ford rakensi puolestaan jo vuoden 1908 kuuluisan T-mallinsa toimimaan etanolilla. Vuosisadan alun jälkeen raakaöljyn laaja käyttöönotto ja polttoaineiden hintasuhteet keskittivät pitkäksi aikaa huomion fossiilisiin polttoaineisiin (Yokayo biofuels 2007).

Uusi kiinnostus biopolttoaineisiin ja niiden kehittämistyö käynnistyi enimmäkseen ympäristö- ja maatalouspoliittisten tavoitteiden myötä noin parikymmentä vuotta sitten. Aluksi motivaationa oli löytää ratkaisu muun muassa maatalouden ylituotanto-ongelmaan, ei niinkään ympäristöseikat (Aro-Heinilä et al. 2006). Viimeaikaisen tutkimus- ja kehitystoiminnan sekä biopolttonesteiden käyttöönoton veturina on ollut muun muassa halu vähentää öljyriippuvuutta ja parantaa näin energia-omavaraisuutta. Biopolttonesteet nähdään yhtenä keinona rajoittaa liikenteen hiilidioksidipäästöjä, ajoneuvojen polttoainekulutuksen pienentämisen ja muiden vaihtoehtoisten polttoaineiden, kuten maakaasun ja vedyn, rinnalla. Jalostuksen avulla biopolttoaineita voidaan käyttää kohteissa, joissa kiinteitä polttoaineita ei voida teknisistä syistä hyödyntää, luoden näin uusia markkinoita biopolttoaineille. Toisen sukupolven biopolttoaineiden raaka-aineina voidaan käyttää perinteisten viljelykasvien ohella puubiomassaa ja jäteperäisiä polttoaineita, mikä entisestään lisää kiinnostusta biopolttoaineisiin (Ohlström & Savolainen 2005). Työssäni keskityn kuitenkin lähinnä viljelykasveista liikennekäyttöön valmistettaviin polttoaineisiin ja niiden hyödyntämiseen, vaikutuksiin ja teknologioihin.

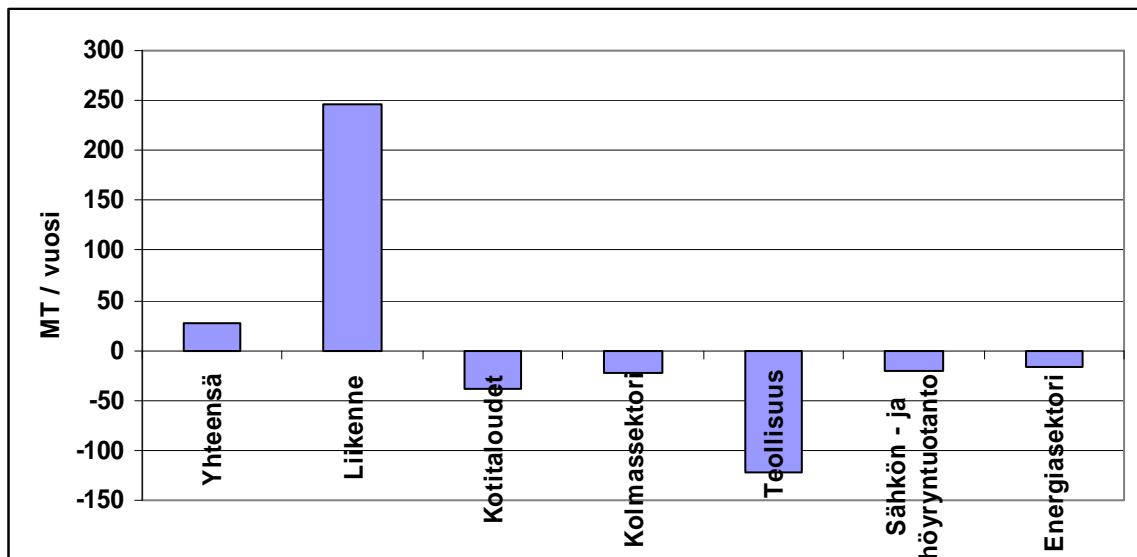
Maailman energiateollisuudessa liikkuvat huimaavat rahasummat, kasvanut kiinnostus ympäristöä kohtaan ja sitä kautta median sekä lainsäädännön luomat uudet normit tekevät biopolttoaineista aiheen, joka herättää paljon keskustelua niin tiedeyhteisön, kuin median ja tavallisen kansan piirissä. Aiheen suhteellisen tuoreuden ja erilaisten intressien takia on olemassa mielipiteitä ja tutkimuksia, jotka ovat lähes vastakkaisia toisiinsa nähden. Vaikka biopolttoaineita pidetään usein kansallisessa ja globaalissa mediassa yleisesti ympäristöystävällisinä, nämä väittämät eivät jää ilman vasta-argumentteja. Pahimpia kiistanaiheita ovat biopolttoaineiden todellinen potentiaali vähentää hiilidioksidi- ja dityypidioksidiemissioita, kun koko elinkaari otetaan huomioon. Keskustelua aiheuttaa myös se, mistä kasvavaan viljelytarpeeseen saadaan vapautettua riittävästi viljelykelpoista

maata ja mitä vaikutuksia tällä toiminnalla on paikalliseen sekä globaaliin biodiversiteettiin sekä yhteiskunnallisiin ja taloudellisiin kysymyksiin, kuten energiantuontiin. EU:n omien arvioiden mukaan alueen riippuvuus tuontienergiasta saattaa kasvaa 70 prosenttia seuraavan 30 vuoden aikana (EU 2000).

Tärkeimmäksi biopolttoaineita ja ennen kaikkea niiden kannattavuutta ja ympäristöystävällisyyttä koskevaksi kysymykseksi näyttää muodostuvan lopputuotteen sijaan koko prosessin ja sivuenergiavirtojen hahmottaminen. Sivutuotteiden, kuten esimerkiksi oljen ja eri proteiinien, hyödyntäminen nousee tärkeään asemaan, jotta biopolttoaineista todella voitaisiin puhua ympäristölle ystävällisenä energianlähteenä. Biopolttoaineiden taloudellinen tukeminen lainsäädöllisen ja verotuksellisin keinoin voi olla alkusysäys niiden käytölle, mutta siitä ei ole lopullinen ratkaisu asiaan. Liikennepolttoaineita koskevat ratkaisut ovat erityisen tärkeässä asemassa liikennesektorin liki täydellisen fossiilipolttoaineriippuvuuden ja alati kasvavan kulutuksen takia (kuva 4). Liikenne ja tätä kautta biopolttoaineet ovat avainasemassa erityisesti pyrittäessä hiilidioksidipäästöjen hallintaan (kuva 5).



Kuva 4. Energian kulutuksen jakautuminen EU25 2004 (Eurostat 2007).



Kuva 5. Muutos CO₂-päästöissä EU:n alueella 1990 - 2005 (Maniatis 2007).

1.3 Ensimmäisen ja toisen sukupolven biopolttoaineet

1.3.1 Nykyinen tilanne, teknologiat ja raaka-aineet

Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineita voidaan käyttää sekoitettuina vaihteleviksi pitoisuuksiksi fossiilisten polttoaineiden kanssa useimmissa liikennekulkuneuvoissa ja niiden jakelu voidaan suorittaa olemassa olevalla teknologialla ja infrastruktuurilla. Näin määrittelee EU-komission biopolttoainestrategia (EU-komissio 2006). Dieselmoottori voi mallista riippuen toimia jo nykyisin 100 % biodieselillä (B100) ja eri autovalmistajat tuovat uusia malleja markkinoille jatkuvasti. Dieselin tai bensiinin osuuden korvaaminen biopolttoaineella nähdään EU:n taholta yksinkertaisimpana vaihtoehtona liikennesektorille osallistua Kioton sopimuksen asettamien raja-arvojen saavuttamiseen, eritoten kun positiiviset vaikutukset koskettaisivat käytännössä koko autokantaa. EU keskittyy erityisesti dieselpolttoaineen vaihtoehtojen hahmottamiseen, koska EU tuo nykyisin dieseliä ulkopuolelta, mutta toisaalta vie bensiiniä. Lisäksi dieselin suhteellinen osuus EU:n liikennepolttoaineiden kulutuksesta on kasvussa (EU-komissio 2006).

Käytännössä ensimmäisen sukupolven biopolttoaineista puhuttaessa tarkoitetaan bioetanolia tai vaihtoesteröintimenetelmällä valmistettua biodieseliä. Valmistusmateriaalit vaihtelevat maasta ja maanosasta riippuen sen mukaan mitä viljelykasvia on edullista tuottaa vallitsevissa olosuhteissa tai tuoda kannattavasti ulkopuolelta. Ensimmäisen

sukupolven biopolttoaineiden ongelmana on ollut niiden huono kilpailutilanne fossiilisiin polttoaineisiin nähden, koska ne eivät vielä toistaiseksi ole voineet kilpailla täysimittaisesti kuluttajalle hyvin tärkeällä argumentilla eli hinnalla. Kannattavuus- ja sitä kautta hintaongelma on koskettanut erityisesti bioetanolia (EU-komissio 2006). Osittain tämän takia argumenteiksi ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden puolesta on nostettu muun muassa niiden ympäristöystävällisyys fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna sekä niiden avulla saavutettava riippumattomuus fossiilisesta öljystä ja ulkopuolelta tulevasta energiasta.

Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden kaupallinen hyödyntäminen on monissa maissa vasta alkamassa. EU näkee tärkeimpänä tällä hetkellä uusien biopolttoainetuotantolaitosten perustamisen, uuden tyyppisten moottorien saattamisen markkinoille sekä polttoaineenkuljetusinfrastruktuurin ja – menetelmien parantamisen (EU-komissio 2006). Tätä kautta on saavutettavissa suurin hyöty nykyisin markkinoilla jo olevista biopolttoaineista ja voidaan luoda vakautta maailman energiakentällä. Myös uusien biopolttoaineiden raaka-aineiden etsiminen on tärkeää, koska ensimmäisen sukupolven saattaminen mahdollisimman kannattavaksi vaatii juuri raaka-ainepohjan laajentamista (Driel van 2007). Kuvaannollisten sukupolvien vaihtuminen ei tapahdu yhdellä kertaa ja kaikilla teknologioilla samanaikaisesti. Toisen biopolttoainesukupolven kehittyessä tulee se syrjäyttämään vähitellen kannattamattomiksi käyviä ratkaisuja. Ensimmäinen ja toinen sukupolvi biopolttoaineita tulevat olemaan vuosia markkinoilla samanaikaisesti, joten ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden kehitykselle on vielä aikaa ja tarvetta.

1.3.2 Toisen sukupolven biopolttoaineet ja teknologiat

Toisen sukupolven biopolttoaineista puhuttaessa ongelmia tuottaa se, että määritelmät ja termit siitä mitkä itse asiassa ovat toisen sukupolven biopolttoaineita, eivät ole yksiselitteiset. Niin sanottujen sukupolvien välinen raja on osin hyvin häilyvä. Sen käyttö riippuu mielipiteen esittäjästä ja koko raja on tietyllä tapaa melko keinotekoinen. Toisen sukupolven biopolttoaineiden tulee täyttää biopolttoaineiden yleinen määritelmä lähtömateriaalin ja uusiutuvuuden kohdalta. Usein selvyiden vuoksi lähes kaikki biopolttoaineet, jotka selvästi eivät kuulu ensimmäisen biopolttoainesukupolven

valtavirtaan eli bioetanoliin ja vaihtoesteröinnillä tuotettuun biodieseliin ja joiden kehitystyö on edelleen aktiivista, lasketaan toisen sukupolven biopolttoaineiksi.

Toisen sukupolven biopolttoaineista lähimpänä jokapäiväistä käyttöä on lignoselluloosan hyödyntäminen tuotannossa. Muita lähitulevaisuuden biopolttoaineteknologioita ovat ns. Fischer-Tropsch biodiesel sekä bio-DME eli dimetyylieetteri (EU-komissio 2006). Lignoselluloosan prosessointi biopolttoaineeksi tarkoittaa yksinkertaistaen mahdollisuutta raaka-ainekasvin koko biomassan hyödyntämistä biopolttoaineen valmistuksessa. Esimerkiksi vehnän jyvän sijasta voidaan biopolttoainetuotannossa hyödyntää koko maanpäällinen osa kasvista. Esimerkiksi oljen erillinen korjaus ja käsittely eivät näin rasita lopputuotteen energiatasetta, puhumattakaan jos olki jätettäisiin suoraan pellolle. Toisen sukupolven hyötynä pidetään yleisesti pienempiä suhteellisia hiilidioksidipäästöjä. Vaikka lannoitteiden ja torjunta-aineiden määrät pysyisivät vakiona, lisääntyy hyödynnettäväksi kelpaavan sadon määrä. Esimerkiksi lignoselluloosan kohdalla prosessin riippumattomuus tietystä raaka-aineesta nähdään mahdollisuutena helpottaa konfliktia ravinto- ja energiakasvien välillä. Potentiaalisimpina energiakasveina nähdään usein auringonkukka ja maissi (BBC News 2006). Muun muassa EU:n komissio laskee juuri toisen sukupolven biopolttoaineiden ratkaisevan mahdollisen konfliktin ruoka- ja energiakasvien tuotannon välillä (Europe Daily 2007).

EU näkee myös synteettisen maakaasun (SNG) mahdollisena vaihtoehtona toisen sukupolvenbiopolttoaineeksi sekä osatekijänä EU:n biopolttoainetavoitteen (5,75 % vuonna 2010, 10 % vuonna 2020) saavuttamiseksi. SNG:n valmistus on mahdollista fossiilisista tai uusiutuvista raaka-aineista ja sen etuina nähdään myös CO₂-päästöjen väheneminen, minkä lisäksi sitä pidetään mahdollisena "edelläkävijäpolttoaineena" muiden kaasumaisten biopolttoaineiden kehityksessä (EU-komissio 2006). Toisen sukupolven biopolttoaineet ovat vielä laajasti kehitysvaiheessa ja niiden tulo markkinoille tapahtunee asteittain kertasiirtymän sijasta. Tutkimuksessa ja tuotekehityksessä pääosa-alueiksi toisen sukupolven biopolttoaineille on yksittäisten jäsenmaiden ja koko EU:n taholta nostettu muun muassa biopolttoaineista aiheutuvien lisäkustannuksien pienentäminen, suuremmat kasvihuonekaasupäästöhyödyt, laajempi alueellinen raaka-ainepohja sekä raaka-aineiltaan laajapohjaisten prosessien kehitys (EU-komissio 2006; Saarinen 2007). Kauempana tulevaisuudessa siintää biopolttoaineteknologioiden kehityttyä uusiutuvasti tuotetun vedyn hyödyntäminen laajamittaisesti liikennepolttoaineena, mikä takaisi käytännössä

päästövapaan liikenteen. Vetypolttokennojen kehitys ei kuitenkaan ole vielä riittävällä asteella ja tuotantolaitokset sekä jakeluverkko rakentamatta. Tämä aiheuttaa omat rasitteensa vedyn kokonaisenergiataseelle vielä ainakin tässä vaiheessa.

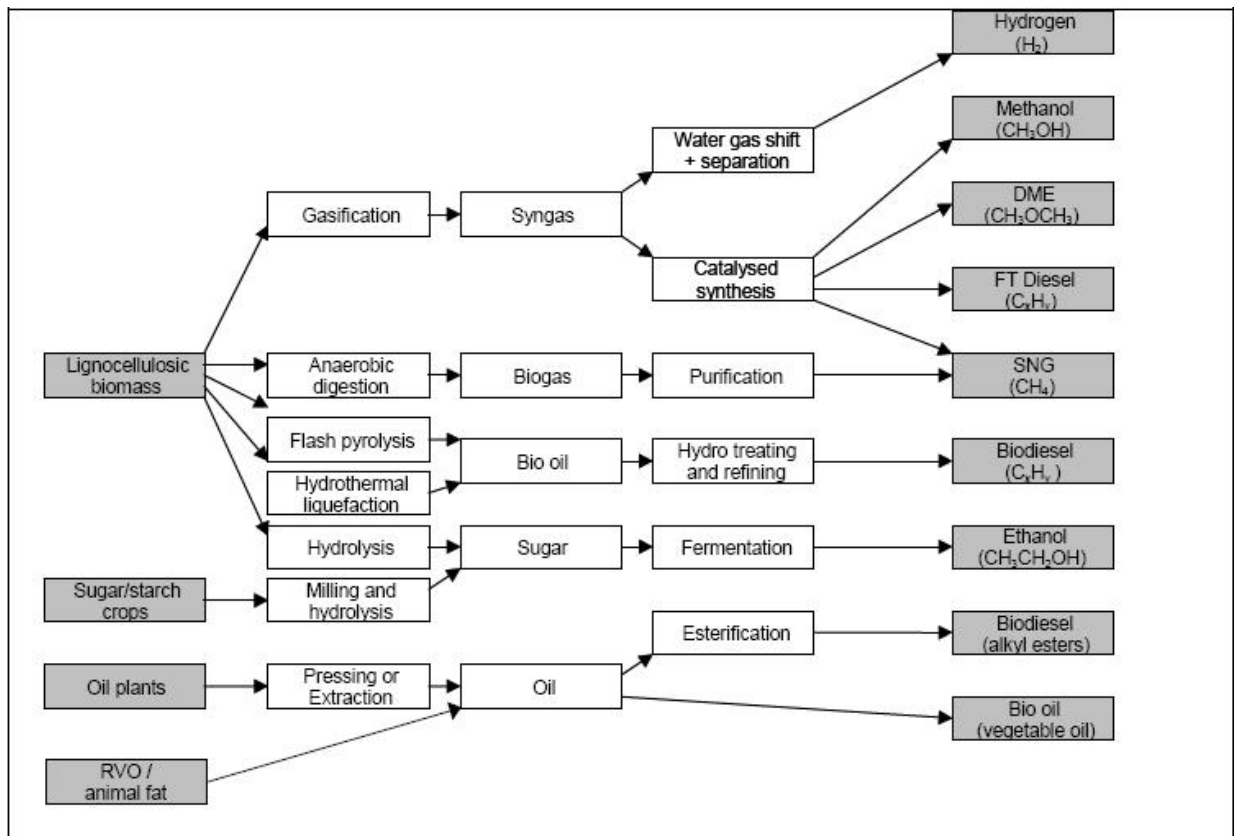
1.4 Tutkimusongelmat

Tutkielma antaa biopolttoaineiden tuotanto- ja jalostusprosessin yleiskatsauksen ohella ajankohtaisen näkemyksen seuraaviin tutkimusongelmiin.

- Mikä biopolttoaineen tuotantokasvin satotason on vähintään oltava, jotta kokonaisenergiatase on neutraali tai positiivinen?
- Miten biopolttoaineen tuotantokasvin viljelyn, kuljetuksen, jalostuksen ja käytön pää- ja sivuenergiavirrat jakautuvat?
- Mitkä ovat biopolttoaineiden tuotantokasvien viljelyn, kuljetuksen, jalostuksen ja käytön kokonaisvaikutukset?

2. Biopolttoaineiden valmistus

Biopolttoaineiden valmistaminen on nykYTEknologialla mahdollista useista eri raaka-aineista ja toisaalta saman raaka-aineen lopputuotteet voi olla täysin erilaisia. Kuva 6 esittää tällä hetkellä mahdollisia biopolttoaineiden tuotantomenetelmiä joiden raaka-aineina ovat selluloosa, sokeri, tärkkelys, öljykasvit ja eläin- ja kierrätysrasvat. Tutkielmassa painotettavat vehnäbioetanoli ja rapsibiodiesel kuuluvat molemmat ensimmäisen sukupolven biopolttoaineisiin. Toisen sukupolven biopolttoaineita edustavat lignoselluloosaa sekä eläin- ja kierrätysrasvoja hyödyntävät teknologiat.

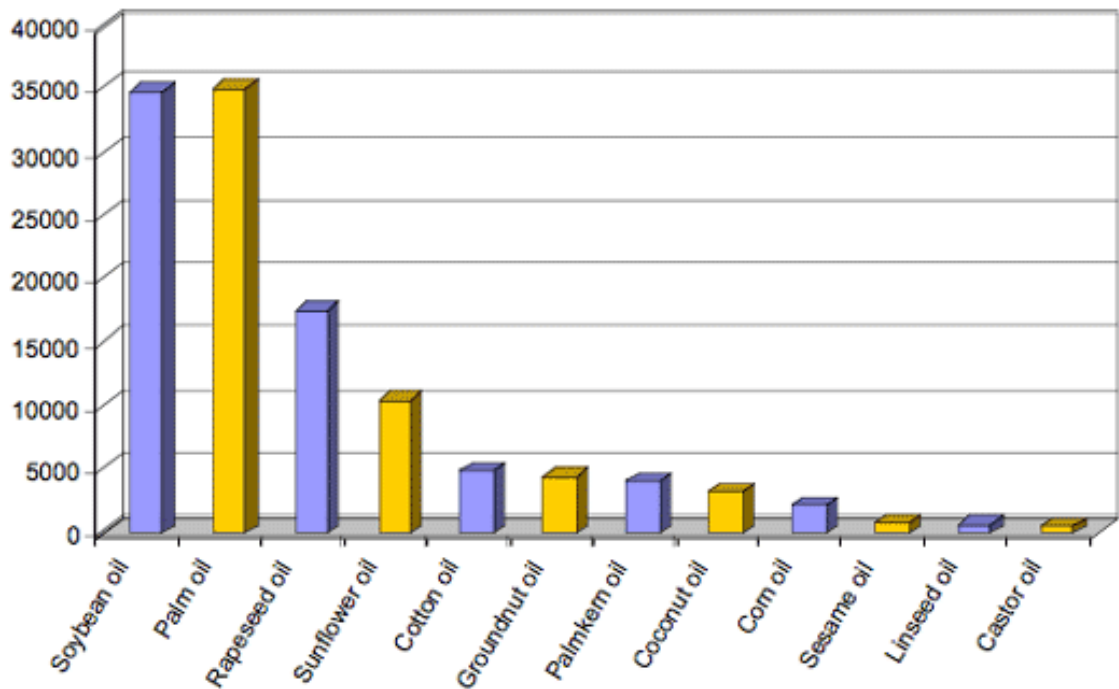


Kuva 6. Biopolttoaineiden valmistusmahdollisuuksia (SEI 2004).

2.1 Raaka-aineet

2.1.1 Biodiesel

Vaihtoesteröintimenetelmällä valmistettavan biodieselin mahdollisia raaka-aineita ovat käytännössä lähes kaikki öljykasvit tai tarkemmin sanottuna niistä puristamalla saatava kasviöljy. Biodieseliä valmistettaessa mahdollisia kasviöljyn lähteitä ovat esimerkiksi maissi, rapsi, öljypalmu, kookos, jatropha, maapähkinä, soija, puuvilla, oliivi, rypsi, pellava, sinappi, camelina, auringonkukansiemen ja hamppu (kuva 7). Ainakin teoriassa lähes kaikkia kasveja, joiden siemenet sisältävät öljyä, kuten teoriassa Suomessa tienvarsilla yleistä lupiinia, voidaan käyttää biodieselin tuotantoon (Bioste 2006). Vaikka biodieseliä on mahdollista valmistaa hyvinkin monipuolisista raaka-aineista, joiden saatavuus ja tuotanto-ominaisuudet vaihtelevat suuresti, on sen edes osittain taloudellisesti kannattava valmistaminen mahdollista vain osalla niistä. Todellista merkitystä niistä on etupäässä USA:n soijalla, Euroopan rapsilla sekä Aasian palmuöljyllä.



Kuva 7. Kasviöljyn tuotannon jakautuminen maailmassa 2005 – 2006 / 1000 t (Fediol 2008).

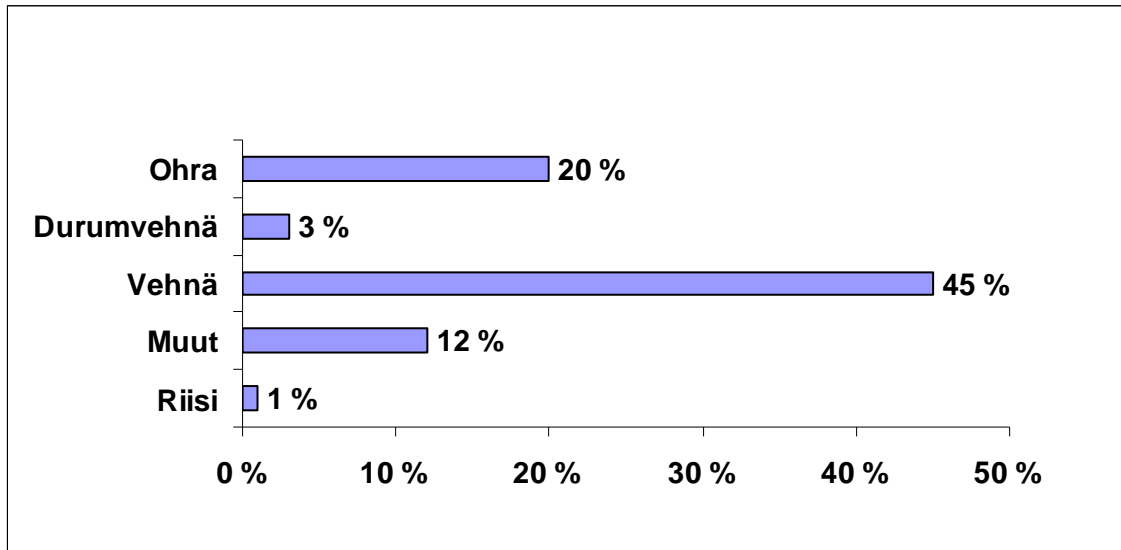
Tutkielmassani käsittelen etupäässä rapsista (*Brassica napus* subsp. *oleifera*) valmistetun biodieselin ominaisuuksia ja elinkaarta. Rapsi on muun muassa biodieselin tuotantoon käytetty öljykasvi, jonka pääasiallinen viljelyalue on Keski-Euroopassa ja sen viljely tulee todennäköisesti kasvamaan merkittävästi tulevaisuudessa (EFMA 2006). Kauppakelpoisessa elintarvikerapsissa ei saa olla vierasta hajua, makua tai vieraita aineita. Energiaksi käytettäessä eli tässä tapauksessa biodieseliä valmistettaessa edellä mainittuja ehtoja ei ole (Farmit 2007). Näistä öljykasveista viljellään sekä kevät- että syysmuotoja. Rapsin siemen painaa 3-4 g ja keskimääräinen öljypitoisuus on > 45 % mikä on noin 3-6 prosenttia enemmän, kuin esimerkiksi rypsilä (Bioste 2006). Rapsi menestyy parhaiten kivennäismailla, joiden pH on hyvä. Hyvin kalkittu pelto sisältää yleensä runsaasti myös kalsiumia ja magnesiumia, joita rapsi tarvitsee runsaasti. Öljykasvit käyttävät rikkiä enemmän kuin viljat, joten niille kannattaa käyttää rikkipitoisia lannoitteita. Rapsi ja rypsi ovat ristikkukaisia kasveja, joiden taudit, varsinkin pahkahome, lisääntyvät nopeasti, jos öljykasveja viljellään samalla loholla liian usein. Sen vuoksi rapsia/rypsiä tulisi viljellä korkeintaan joka neljäs vuosi samalla loholla. Rapsi/rypsi on erittäin hyvä esikasvi viljoille. (Farmit 2007).

Toisen sukupolven biodieselit, joiden valmistaminen tapahtuu muilla menetelmillä, kuten vedytyksellä, voivat hyödyntää valmistuksessa myös erilaisia eläinrasvoja samoin kuin ravintolojen ja elintarviketeollisuuden käytettyjä kasviöljyjä sekä paistorasvoja. Tulevaisuudessa biodieselin tuotannon johtotähtenä nähdään erilaiset vedessä kasvavat levät, joiden öljypitoisuus voi nousta jopa 50 prosenttiin. Levien käytössä biodieselin tuotantoon hyvinä puolina nähdään muun muassa se, että ne eivät vie peltopinta-alaa eikä niiden viljely näin ollen aiheuta maaperän eroosiota. Lisäksi levien vedenlähteenä on todennäköisesti mahdollista käyttää muun muassa suoraan jäte- tai merivettä. Levistä tuotetun biodieselin tuleminen kuluttajamarkkinoille ei kuitenkaan todennäköisesti tapahdu lähivuosina, koska ongelmia on vielä esimerkiksi kasvatusveden haihtumisen sekä suolan kertymisen taholla (Briggs 2004).

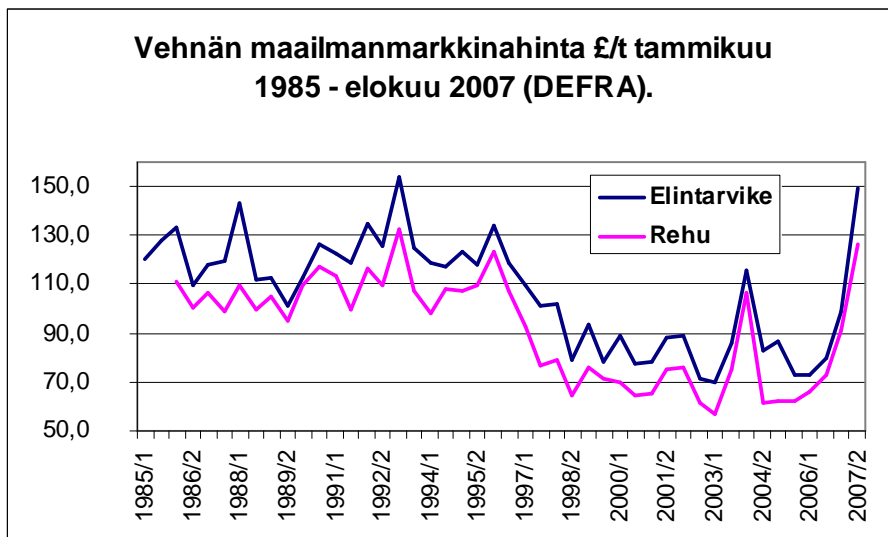
2.1.2 Bioetanoli

Bioetanoli on etanolia, joka on valmistettu biomassasta tai eloperäisestä jätteestä. Bioetanolia on mahdollista valmistaa käytännössä hyvin erilaisista sokeri- ja tärkkelyspitoisista kasveista. Se, mitä kasvia milläkin alueella käytetään, vaihtelee paljon. Kahtena pääryhmänä ovat erilaiset viljat, kuten maissi, ohra, vehnä, kaura ja riisi, ja sokeri eli sokeriruoko ja -juurikas. Viljoja ovat esimerkiksi. Sokeriruoko ja – juurikas muodostavat kilpailevan leirin. Bioetanolia voidaan valmistaa näiden lisäksi muun muassa perunasta sekä erilaisista juureksista ja hedelmistä sekä esimerkiksi ylijäämäviinistä. Bioetanolia voidaan valmistaa myös biomassasta eli esimerkiksi biojätteestä, hakkeesta, oljista (Kiviranta & Siitonen 2005). Tutkielmassa keskityn kuitenkin etupäässä vehnästä valmistettuun bioetanoliiin. Vehnä (*Triticum spp*) on tärkeässä asemassa juuri EU:n biopolttoainestrategiassa, koska se muodostaa suurimman yksittäisen osan EU:n alueella kasvatetusta viljasadosta ja sen peltopinta-ala on EU:n alueella viljellyistä viljakasveista suurin eli noin 17,3 miljoonaa hehtaaria (kuva 8). Vehnän viljelypinta-ala EU:n alueella saattaa pienentyä lähivuosina, koska kolmansista maista tuleva palmuöljy ja siitä valmistettava biodiesel nousee merkittävään asemaan, kun EU:n biopolttoainetavoitetta pyritään saavuttamaan (EFMA 2006). Vehnä on vehnien sukuun kuuluva viljakasvi, jonka kukinto on tähkä. Vehnän jyvässä ei yleensä ole vihneitä. Vehnän jyvän ympärillä ei ole samanlaista kuorta kuin ohralla ja kauralla. Syysvehnän jyvät ovat hieman suurempia kuin kevätevehnän. Vehnässä on 58 % hiilihydraatteja, 3 % rasvaa, 11 % proteiineja, 13 % kuitua sekä loput vettä ja kivennäisaineita (finfood.fi 2007). Vehnä nähdään tulevaisuudessa

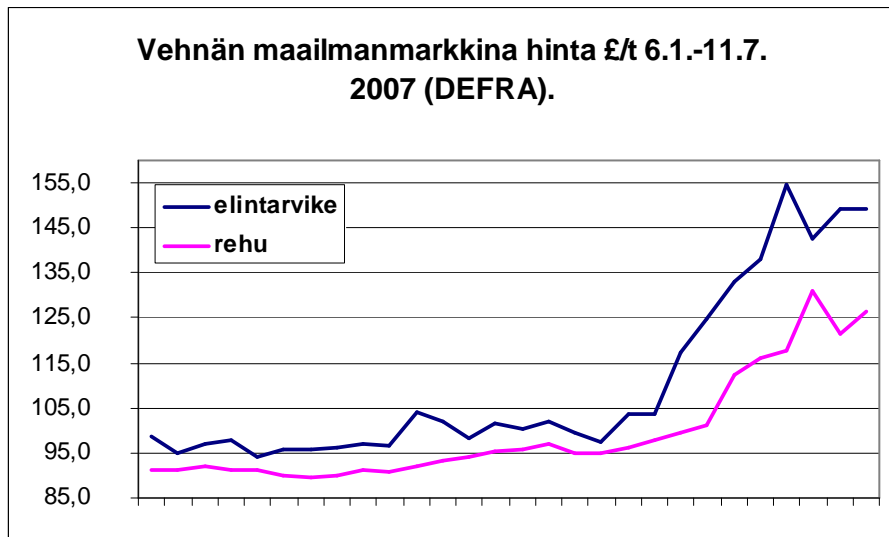
todennäköisimpänä raaka-ainekasvina EU:n bioetanolin tuotannolle ainakin vuoteen 2010 asti tai niin pitkään, kun ensimmäisen sukupolven tuotantoteknologiat ovat vallitsevia (Agra Europe 2007a). Haasteita vehnän osalta tuo sen nousussa oleva maailmanmarkkinahinta (Kuvat 9 & 10)



Kuva 8. Viljasato lajeittain 2005, EU25 (EFMA 2006).



Kuva 9. Vehnän maailmanmarkkinahinnan kehitys viimeisen 22 vuoden aikana (DEFRA 2007).



Kuva 10. Vehnän maailmamarkkinahinnan kehitys vuoden 2007 aikana (DEFRA 2007).

2.2 Valmistusprosessit

2.2.1 Biodiesel

Biodieselin tuotannossa on ensimmäisen sukupolven vaihtoesteröintimenelmä nykyisin vielä yleisimmin käytössä. Uusina tekniikoina esiin nousevat kasviöljyn suoraikäyttömahdollisuutta sekä toisen sukupolven biodieselin valmistusmenetelmä vedytystä hyväksikäyttäen.

2.2.1.1 Vaihtoesteröintimenetelmä

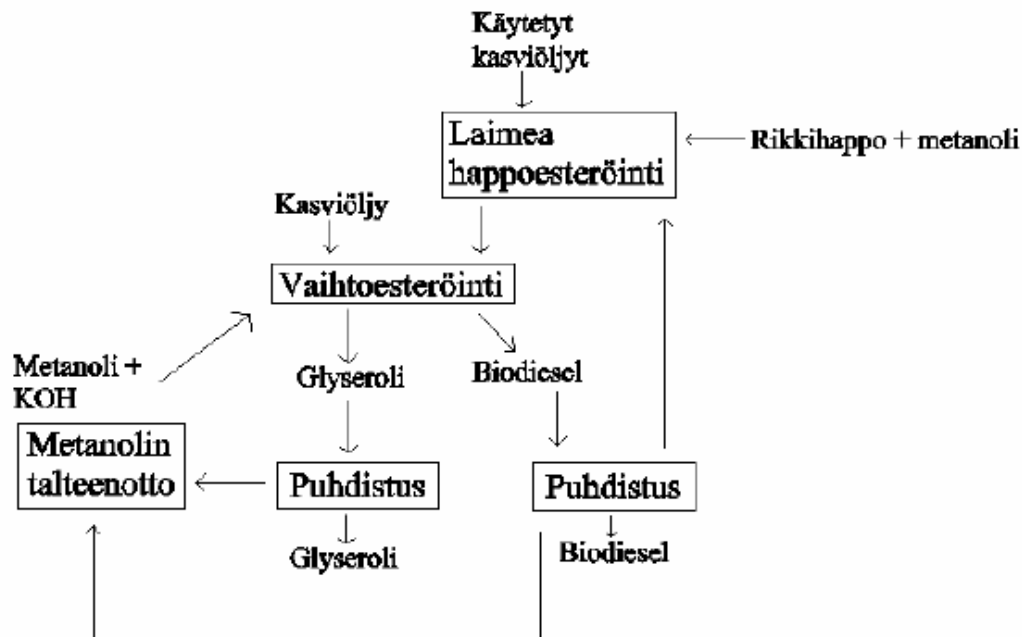
Ensimmäisen sukupolven biodieselin valmistukseen yleisimmin käytetty menetelmän eli vaihtoesteröinnin kehittivät E. Duffy ja J. Patrick jo vuonna 1853. Heidän tavoitteenaan oli tuolloin valmistaa saippuaa ja prosessin sivutuote oli glyseroli (Yokayo 2007). Rudolf Dieselin kehittämät ensimmäiset dieselmoottorit käyttivät polttoaineinaan jalostamattomia kasvisöljyjä. Dieselin visiona oli, että polttoaineen tuotanto ei olisi yksin suuryhtiöiden käsissä. 1920-luvulla bensiinin jalostuksen yhteydessä saatava halpa dieselöljy korvasi kasvisöljyt polttoaineena (Yokayo 2007).

Biodieseliä voidaan valmistaa vaihtoesteröintimenetelmällä rasvoista joko happo- tai emäskatalysoimalla. Näistä kahdesta menetelmästä emäskatalysointi on käytetympi, koska

se ei vaadi korkeaa lämpötilaa, painetta tai monimutkaista laitteistoa. Sillä saavutetaan myös paras konversioaste, yleensä yli 98 prosenttia. Saavutettu konversioprosentti riippuu kuitenkin aina käytetyistä lähtöaineista ja niiden vesipitoisuudesta (Takala & Valkama 2006). Vaihtoesteröintimenetelmissä rasvahappojen triglyseridit reagoivat alkoholin kanssa muodostaen monoalkyyliesteriä ja raakaglyserolia. Yleisimmin käytetty alkoholi on metanoli (CH_3OH). Myös etanolin käyttö on mahdollista, mutta se on metanolia hankalampaa puhtaaksi tislatus etanolin (96 - 98 %) edelleen sisältämän veden takia. Lisäksi etanolin markkinahinta on metanolia korkeampi (Aro-Heinilä et al. 2006). Koko valmistusprosessi suoritetaan suljetussa laitteistossa alkoholin haihtumisen estämiseksi. Näin alkoholi voidaan ottaa reaktion jälkeen talteen ja käyttää uudestaan. Ylimäärä alkoholi-katalyyttiseosta siirretään ilmatiiviiseen reaktioastiaan kasviöljyjen kanssa. Alkoholin ylimäärä siirtää reaktion tasapainoa tuotteiden puolelle parantaen siten konversioastetta. Reaktioastia myös lämmitetään lähelle käytettävän alkoholin kiehumispistettä vaihtoesteröintireaktion nopeutumiseksi. Reaktioon kuluva aika vaihtelee tunnista jopa kahdeksaan tuntiin. Vaihtoesteröintireaktiossa syntyneet kaksi tuotetta, glyseroli ja monoalkyyliesterit, sisältävät molemmat reagoimatonta alkoholia. Se ei kuitenkaan vaikuta niiden erottamiseen toisistaan. Tiheyseroista johtuen glyseroli ja esterit voidaan helposti erottaa toisistaan painavamman glyserolin laskeuduttua reaktioastian pohjalle. Tuotteiden erottamisessa voidaan käyttää myös sentrifugointia, jolloin säästetään aikaa (Takala & Valkama 2006).

Reaktiotuotteisiin sitoutunut alkoholi voidaan poistaa yksinkertaisella tislauslaitteistolla jo suhteellisen matalissa lämpötiloissa. Alkoholin erotustislaus voidaan suorittaa joko heti vaihtoesteröintireaktion jälkeen tai vasta reaktiotuotteiden toisistaan erottamisen jälkeen. Saatu alkoholi voidaan kierrättää ja käyttää uudelleen. Glyserolin ja reagoimattoman alkoholin poiston jälkeen saatu puhdistamaton biodiesel sisältää vielä katalyyttijäämiä sekä mahdollisesti pieniä määriä muodostunutta saippuaa. Nämä saadaan poistetuksi pesemällä biodiesel lämpimällä vedellä. Pesun jälkeen puhdistettu biodiesel kuivataan, jolloin on saatu viskositeetiltaan normaalin dieselin kaltaista kellertävää biodieseliä. Siitä voidaan tarvittaessa poistaa tislaamalla myös värin aiheuttavat ainesosat, mutta se on harvoin tarpeellista. Saatu glyseroli sisältää reagoimatonta katalyyttiä sekä saippuaa, joka neutraloidaan hapolla. Vesi ja alkoholi poistetaan, jolloin saadaan myyntikelpoista, 80–88 prosenttista raakaglyserolia. Se taas voidaan tarvittaessa tislata lääke- ja

kosmetiikkateollisuuden tarpeisiin soveltuvaksi, erittäin puhtaaksi glyseroliksi. Glyserolin myynti ja jatkojalostus on kuitenkin kannattamatonta pienillä tuotantomäärillä. Silloin se voidaan esimerkiksi polttaa hakkeen seassa. Valmistuksen kaavio on esitetty kuvassa 11 (Takala & Valkama 2006). Biodieselin valmistaminen vaihtoesteröintiprosessilla on pääosiltaan samanlaista lähtöraaka-aineesta riippumatta.



Kuva 11. Biodieselin valmistus prosessi yleisesti (Hietanen 2007).

2.2.1.2 Kasviöljyn suora käyttö

Kasviöljyä on mahdollista käyttää polttoaineena myös sellaisenaan. Suorakäytön etuna esteröityyn biodieseliin nähden on sen yksinkertaisempi ja edullisempi tuotantoprosessi sekä parempi energiahyötysuhde. Kun saatua öljyä ei tarvitse esteröidä, muodostuu polttoainekustannus pelkästään kasviöljyn hinnasta ja tuotannon energiankäyttö öljykasvin viljelystä sekä öljyn puristuksesta. Yhtenä esteröidyn biodieselin ongelmakohtana nähdään tuotantoprosessissa käytettävä maakaasupohjainen metanoli, joka on suhteellisen kallista ja tuo tuotantoketjuun fossiilisen energiapanoksen. Se vaikuttaa näin ollen kokonaisenergiatuloon negatiivisesti. Ongelmia saattaa aiheuttaa myös metanolin myrkyllisyys ja helppo haihtuvuus, joka muodostaa tuotantopaikalle ympäristö- ja henkilövahinkovaaran. Näitä ongelmia kasviöljyn suora käytössä ei ole. (Ansø & Bugge 2001)

Suorakäytön suurin ongelma on, että nykyisiä dieselmootteita ei ole suunniteltu kasviöljyn käyttöön. Nykyisissä suoraruiskutusdieselmootteissa käytetään polttoaineen korkeaa ruiskutuspainetta, tarkkaa polttoaineen annostelua ja pieniä polttoainesuuttimia. Näillä saadaan aikaan tehokas palaminen ja vähäiset ilmapäästöt. Kasviöljyjen viskositeetti on suuri, rapsiöljyllä jopa 15-kertainen fossiiliseen dieselpolttoaineeseen verrattuna (Ali & Hanna 1994). Kasviöljyjen heikko juoksevuus aiheuttaa ongelmia ahtailla suuttimilla varustetuissa suoraruiskutusjärjestelmissä. Kasviöljy soveltuu kuitenkin varauksin vanhoihin esikammiodieselmootteihin. Näissäkin kasviöljy sisältämät vaha-ainesosat saattavat tukkia polttoainesuuttimia moottorin jäähtyessä. Sekoittamalla fossiilista dieselpolttoainetta kasviöljyn sekaan saadaan kasviöljyn ominaisuuksia parannettua. Haluttaessa käyttää puhdasta kasviöljyä tarvitaan moottoriin polttoaineen esilämmitysjärjestelmä sekä kaksi erillistä polttoainetankkia.

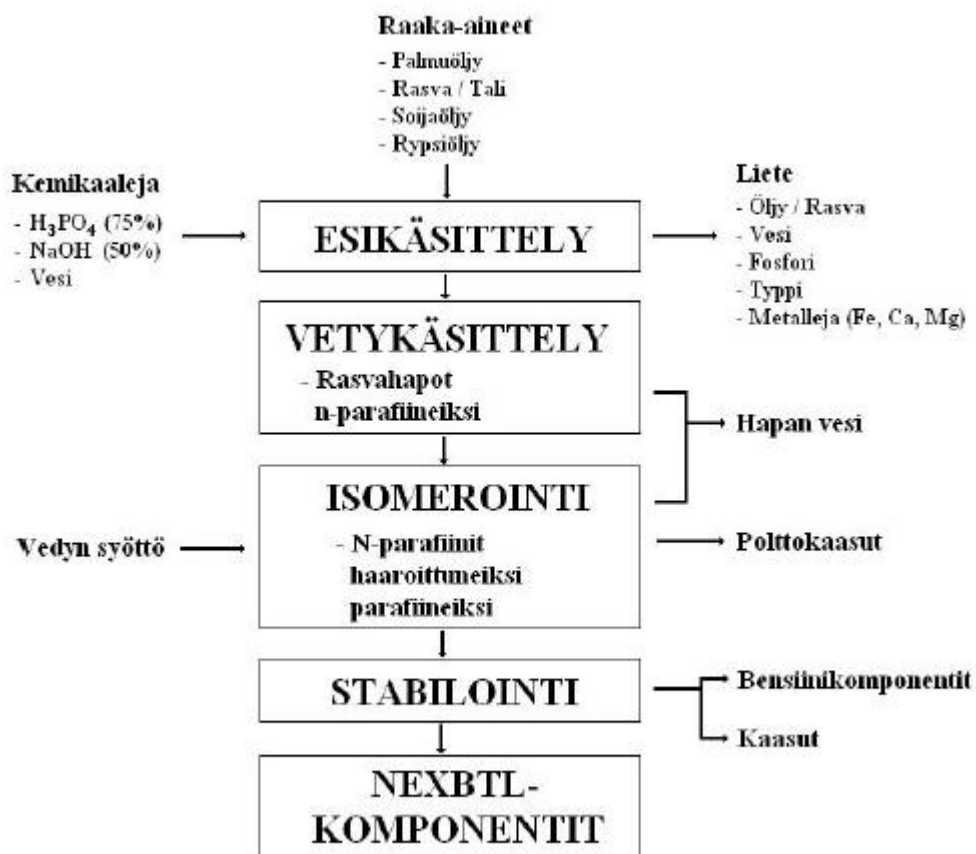
Puhtaiden kasviöljyjen leimahduspiste on korkea, haihtuvuus huono ja syttyvyysominaisuudet tämän takia melko heikkoja. Tästä johtuu suorakäytön huonommat käynnistys- ja kylmäkäyttöominaisuudet esteröityyn biodieseliin verrattuna. Toisaalta edellä mainitut ominaisuudet mahdollistavat jatkuvaan suorakäyttöön tarkoitetun moottorin puristussuhteen nostamisen, mikä sinällään parantaa moottorin hyötysuhdetta. Puhtaat kasviöljyt eivät ainakaan vielä ole soveltuvia laajamittaiseen käyttöön ilman nykyisen autokannan laajoja muutostöitä ja siksi niiden valmistus on tällä hetkellä rajallista. Valmistus ja käyttö Suomen olosuhteissa nähdään kuitenkin yhtenä mahdollisuutena maataloille, jotka ovat hankkineet jo valmiiksi kalustoa, jossa suorakäyttö on mahdollista (Aro-Heinilä et al. 2006).

2.2.1.3 Vedytysmenetelmä

Nykyisin suurin osa osa markkinoilla olevasta biodieselistä valmistetaan rypsi-, rapsi- tai soijaöljystä vaihtoesteröintimenetelmällä. Muiden luonnon rasvojen käyttö on vähäisempää, koska niiden pelätään heikentävän tuotteen laatua. Suppeahkon raaka-ainevalikoiman lisäksi nykyisten ensimmäisen sukupolven biodieseliin ongelmana on ollut tavallista dieseliä huonommat käyttöominaisuudet (Mäkinen et al. 2005). Biodieselin toinen sukupolvi on ollut kehitystyön alla jo jonkin aikaa ja suomalainen Neste Oil on tämän kehitystyön yksi päätekijöistä. Se alkaa ensimmäisenä öljy-yhtiönä maailmassa

valmistamaan biodieseliä raaka-aineen vetykäsittelyyn perustuvalla prosessilla, jolla saadaan luonnon rasvoista ominaisuuksiltaan hiilivetypohjaisille polttoaineille kilpailukykyistä biodieseliä. NExBTL-nimisen polttoaineen (Next Generation Biomass to Liquid) raaka-ainevaihtoehdot ovat myös nykyisistä monipuolisemmat; valmistukseen voidaan käyttää kaikenlaisia kasviöljyjä ja eläinrasvoja. Tuotetta on kehitetty 1990-luvun puolesta välistä lähtien yhdessä useiden suomalaisten yliopistojen ja VTT:n kanssa. Tutkimukset ovat tuottaneet tulosta ja Fortumista irrottautuneen Neste Oilin ensimmäinen Porvooseen rakenteilla oleva tehdas aloitti tuotantonsa kesällä 2007 (Tekes 2006).

NExBTL -prosessissa ja vedytysmenetelmässä yleensäkin, raaka-aineista valmistetaan keskittislettä kaksivaiheisella prosessilla (kuva 12). Ensimmäisessä vaiheessa rasvahapot vedytetään n-parafiineiksi ja toisessa vaiheessa n-parafiinit isomeroitetaan edelleen haaraketjuisiksi parafiineiksi.



Kuva 12. NExBTL:n kaksivaiheisen tuotantoprosessin lohkokaavio (Mäkinen et al. 2005).

NExBTL-biodieselin valmistuksen ensimmäinen vaihe on esikäsitteily, joka tarkoittaa lähinnä epäpuhtauksien poistoa. Raaka-aineet, kasvis- ja eläinrasvat, laitetaan syöttösäiliöön ja käsitellään 75 prosenttisella fosforihapolla, 50 prosenttisella natriumhydroksidilla ja vedellä. Muodostuu liete joka sisältää fosforia, typpeä, öljyä ja rasvaa sekä metalleja, esimerkiksi rautaa, kalsiumia ja magnesiumia. Esikäsitelty rasvaseos siirretään välivarastoon. Esikäsiteltyä seosta syötetään jatkuvatoimisesti vetykäsitteily-yksikköön. Rasvahapot vedytetään n-parafiineiksi. Vedytysvaiheessa lämpötila on 330 - 450 °C ja paine 5 MPa. Katalyytteinä käytetään kaupallisia keskitisleiden rikinpoistokatalyyttejä (Siitonen & Stade 2006).

Koska pelkällä vetykäsitteilyllä ei kasviöljystä saada hyviä kylmäominaisuuksia omaavaa dieselpolttoainetta, täytyy hiilivetyjen seos isomeroida. N-parafiinin molekyyli-rakennetta käsitellään sopivan katalyytin avulla siten, että hiilten kokonaismäärä säilyy suurena ja hiiliketjuun syntyy metyylihaaroja sopiviin paikkoihin. Isomeroinnissa on tärkeää, ettei se mene liian pitkälle, jolloin setaaniluku laskisi haitallisesti. Vetykäsitteilyn ja isomeroinnin jälkeen tuote stabiloidaan. Ennen loppuvarastointia suoritetaan lisäksi NExBTL-komponenttien erottelu prosessissa syntyvistä kaasuista ja bensiinikomponenteista (Siitonen & Stade 2006).

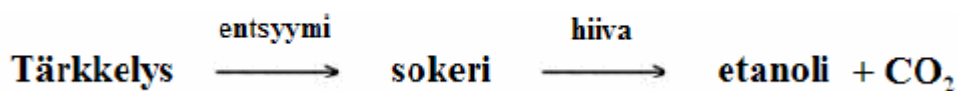
NExBTL- biodieselissä yhdistyvät hyvät kylmäominaisuudet ja erittäin korkea setaaniluku (84 - 99). Setaaniluvulla kuvataan dieselpolttoaineen syttymisherkkyttä. Mitä suurempi setaaniluku on, sitä nopeammin polttoaine syttyy ja sitä tehokkaammin se palaa. Edellä mainitut vaikeasti yhdistettävät ominaisuudet mahdollistaa kaksivaiheinen valmistusprosessi, jossa vedytys nostaa setaanilukua ja isomerointi parantaa kylmäominaisuuksia. Autoihin ei myöskään tarvitse tehdä muutoksia ja NExBTL sopii käytettäväksi nykyaikaisissa dieselmootoreissa sellaisenaan. Aromaattivapauden ansiosta polttoaine soveltuu ajoneuvojen ohella käyttökohteisiin, joissa altistutaan liuotinhöyryille tai poltetaan tuotetta sisätiloissa kuten liuottimien ja valopetrolin valmistukseen. Lisäksi säilyvyys on hyvä, mikä mahdollistaa aineen pitkäaikaisen varastoinnin (EngineerLive 2007).

2.2.2 Bioetanoli

Bioetanolin tuotantotavoista esitellään ensimmäisen sukupolven menetelmä, jossa etanolia jalostetaan sokeri- ja tärkkelyspitoisista raaka-aineista sekä toisen sukupolven menetelmä, joka pystyy hyödyntämään kasvien selluloosaa ja tätä kautta biomassaa kokonaisvaltaisemmin.

2.2.2.1 Valmistus sokeri- ja tärkkelyspitoisista raaka-aineista

Kuten bioetanolin raaka-aineista kertovassa kappaleessa todettiin, on bioetanolin valmistus käytännössä mahdollista hyvinkin erilaisista tärkkelystä ja sokeria sisältävistä kasveista. Bioetanolia voidaan tuottaa käymisprosessin avulla sokeripitoisista tai sokeriksi muunnettavissa olevista raaka-aineista. Kuvasta 13 nähdään, että sokeripitoiset raaka-aineet voidaan käyttää suoraan etanoliksi, kun taas tärkkelyspitoisesta raaka-aineesta tärkkelys on ennen käyttämisprosessia hydrolysoitava entsyymejä käyttäen sokeriksi.

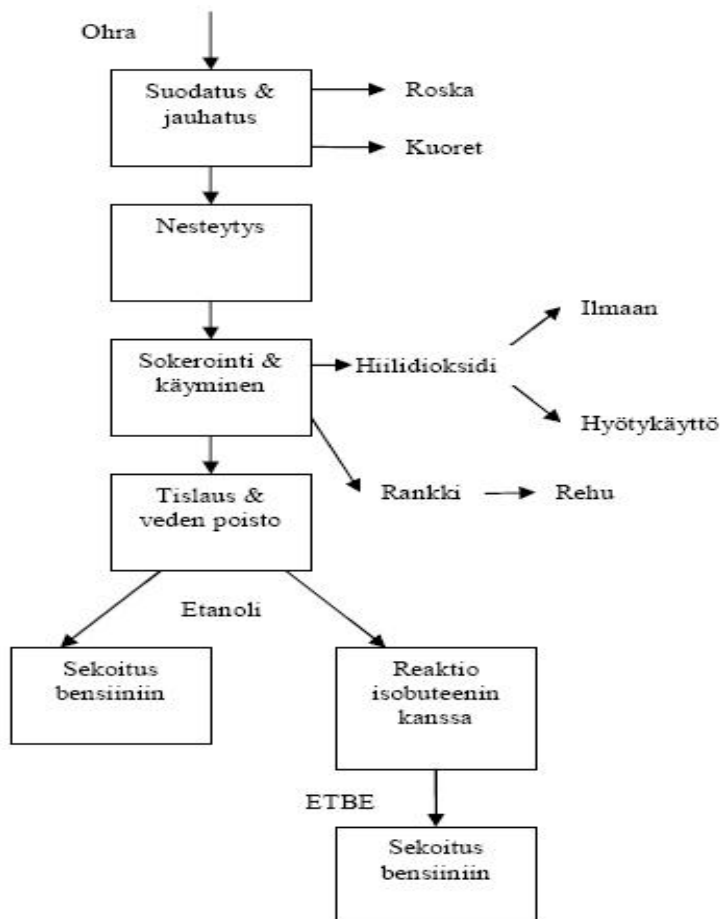


Kuva 13. Bioetanolin tuotantoprosessi yleisessä muodossa (Kiviranta & Siitonen 2005).

Tutkielmani käsittelee nimenomaisesti vehnästä tuotetun bioetanolin vaikutuksia, käydään sen valmistusprosessi tarkemmin läpi (kuva 14). Prosessi on sovellettavissa samanlaisena myös muun muassa ohran ja rukiin käyttöön bioetanolin valmistuksessa. Useissa suomalaisissa prosessin kuvauksissa puhutaankin viljan kohdalla ohrasta, koska sen käsittelyosaaminen on Suomessa hyvällä tasolla ja lisäksi sen viljelyvarmuus on Suomessa vehnää parempi (Mäkinen et al. 2006).

Vehnästä tuotetun bioetanolin valmistusprosessin alussa vehnä tuodaan etanolatehtaalte jyvänä, joka on valmiiksi kuivattu käsittelykosteuteen. Vilja puhdistetaan eli siitä erotetaan esimerkiksi kivet ja metallin palat ja tämän jälkeen jauhetaan. Tässä vaiheessa on mahdollista myös erottaa jyvien kuoret ja käyttää ne esimerkiksi energiantuotantoon tai sitten kuoret voivat kulkea mukana läpi prosessin, jolloin ne kulkeutuvat osaksi rehujakeita (Mäkinen et al. 2006; Hietanen 2007).

Jauhatuksen jälkeen prosessissa tapahtuu nesteytys, jossa jauhettuihin vehnän tai muun viljan jyviin lisätään vettä, entsyymejä ja muita kemikaaleja. Prosessivetenä voidaan käyttää tuotantoprosessin muissa vaiheissa, kuten tislauksessa, syntyviä vesivirtoja ja siten raakaveden käyttöä voidaan vähentää. Tämän jälkeen tärkkelys muutetaan sokereiksi entsyymien avulla ja sokeri fermentoidaan etanoliksi. Alkoholin käyminen synnyttää huomattavan määrän hiilidioksidia, joka tyypillisesti päästetään puhdistuksen jälkeen ilmakehään. Toinen vaihtoehto on hiilidioksidin talteenotto ja sen puhdistaminen myyntiin (Mäkinen et al. 2006).



Kuva 14. Etanolin tuotantoprosessi (Rinne 2007).

Etanoli tislataan ja väkevöidään tämän jälkeen, jotta sitä voidaan käyttää liikennepolttoaineen seoskomponenttina. Lopputuotteena on dehydratointua, 99,8 tilavuusprosenttista etanolia (Mäkinen et al. 2006). Etanolin tislaus ja väkevöintiprosessit ovat itsessään melko runsaasti energiaa kuluttavia (Edwards et al. 2006).

Jauhatus- ja puhdistusvaiheen jälkeen on mahdollista haluttaessa erottaa jyvien kuoret ja käyttää ne esimerkiksi energiantuotantoon tai kuorien on mahdollista kulkea mukana läpi prosessin, jolloin ne kulkeutuvat osaksi rehujakeita. (Mäkinen et al. 2006.) Kun etanolia tehdään viljasta, esimerkiksi juuri vehnästä, suurta osaa kasvista ei käytetä hyödyksi. Sekä viljan oljet että jyvien kuoret ovat vehnän viljelyn ja etanolin tuotannon sivutuotteita. Oljet ja jyvien kuoret sisältävät paljon selluloosaa, joka on periaatteessa mahdollista muuntaa glukoosiksi ja näin olisi mahdollista lisätä etanolin saantoa viljasta. (IEA 2004.) Yksi vaihtoehto on käyttää jyvien kuoret ja oljet polttoaineena energiantuotannossa (Mäkinen et al. 2006). Olkien ottaminen talteen pelloilta lisää tarvittavan lannoituksen määrää ja saattaa muuttaa pellon kosteusolosuhteita, joten asiaa täytyy arvioida myös tältä kannalta (Edwards et al. 2006).

Etanolin tuotantoprosessissa on huomioitava sekä itse etanolin tuotanto, että sivutuotteena muodostuvan rankin määrä. Etanolin tuotantoprosessissa rankkia muodostuu etanolin käymisprosessin sivutuotteena. Rankista valmistetaan valkuaispitoisia rehuja, jotka voidaan yhdistää tai myydä erikseen. Nämä rehut voidaan valmistaa joko märkärehuna tai ne voidaan valmistaa kuivarehupelleteiksi. Märkärehun ongelmana on sen säilyvyys, mutta toisaalta kuivarehupellettien valmistus kuluttaa energiaa kuivauksen aikana (Mäkinen et al. 2006).

2.2.2.2 Valmistus biomassasta

Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, bioetanolia on periaatteessa mahdollista valmistaa lähes kaikista selluloosaa sisältävien raaka-aineiden sokereista, joita ei muutoin voida käyttää esimerkiksi ihmisravintona. Näiden sokeryhdisteiden rakenne vaatii erilaisen kemiallisen prosessin kuin kasvipäriset sokerit (Hietanen 2007). Valmistus alkaa murskauksella, minkä jälkeen sekä selluloosa että hemiselluloosa pilkotaan hydrolyysin avulla sokeriksi. Saadut sokerit käytetään etanoliksi ja jatkojalostetaan haluttuun muotoon. Ongelmia aiheuttavat kuitenkin selluloosan ja hemiselluloosan kiteinen rakenne, sekä niitä suojaava ligniini. Selluloosan ja hemiselluloosan rakenteet ovat erittäin kestävä ja siksi niiden pilkkomiseen tarvitaan vaativat reaktio-olosuhteet (Kiviranta & Siitonen 2005).

Selluloosa ja hemiselluloosa voidaan pilkkoa vesihöyryn ja rikkihapon avulla. Prosessin teollinen hyödyntäminen on kuitenkin ongelmallista huonon hyötysuhteen ja rikkihapon takia. Selluloosa ja hemiselluloosa voitaisiin pilkkoa myös entsyymien avulla. Prosessi on muuten samanlainen kuin rikkihappoa käytettäessä, mutta toisessa vaiheessa käytetty väkevä rikkihappo korvattaisiin entsyymeillä. Tämä helpottaisi prosessin teollista hyödyntämistä poistamalla rikkihapon aiheuttamat ongelmat. Entsyymejä käytettäessä prosessin lämpötilaa pystyttäisiin laskemaan ja prosessin kustannukset laskisivat, kun happoa ei enää tarvitsisi kierrättää ja reaktorit pystyttäisiin valmistamaan edullisemmista materiaaleista. Ongelmana on kuitenkin entsyymien korkea hinta. Niiden kierrättäminen on hankalaa, minkä takia prosessi ei ole tällä hetkellä taloudellisesti kannattava (Kiviranta & Siitonen 2005).

2.3 Käyttöteknologiat ja –kohteet

Työssäni pitäydytään EU:n biopolttoainemääritelmän mukaisesti liikennekäyttösovellutuksissa vaikka esimerkiksi biodieselin käyttö on mahdollista esimerkiksi lämmitykseen. Useimpia biopolttoaineita voidaan käyttää joko polttoainekomponentteina tai polttoaineena sellaisenaan. Alkoholi ja kaasumaiset polttoaineet soveltuvat kipinäsytytteisten moottorien (ottomoottorien) polttoaineeksi ja biodiesel puristussytytteisten (dieselmoottorien) polttoaineeksi. Nykyisin pääasialliset suuremmassa mittakaavassa kaupallisessa käytössä liikenteen biopolttonesteistä ovat viljelykasvipohjaiset bioetanoli ja biodiesel. Brasiliassa, Yhdysvalloissa ja Ruotsissa pääasiallisesti käytettävä biopolttoaine on etanoli ja sen seokset fossiilisten polttoaineiden kanssa. Ranskassa ja Espanjassa käytetään biodieseliä ja ETBE: tä. Biodieseliä käytetään myös Saksassa, Italiassa, Itävallassa ja Yhdysvalloissa. (Ohlström & Savolainen 2005).

Euroopassa EN- standardit ja EU:n direktiivit määrittelevät tieliikennepolttoaineiden laadun. Lähtökohtaisesti polttoainelaatujen tulisi soveltua koko ajoneuvokalustoon. Biopolttoaineiden tulee täyttää nykyiset ja tulevat EU:n tieliikennepolttoaineiden normit ja direktiivit, mistä seuraa selkeitä rajoitteita. Standardin EN590:2003 mukaisessa dieselpolttoaineessa biodiesel-komponentin osuus voi käytännössä olla enintään 5 tilavuusprosenttia, joka vastaa energiaosuutena 4,6 %:a (Ohlström & Savolainen 2005).

Biodieselin voidaan sekoittaa normaaliin dieseliin kaikissa suhteissa. Tällöin sekoitussuhde ilmaistaan Bxx, jossa x tarkoittaa montako prosenttia seos sisältää biodieseliä. Esimerkiksi B5 sisältää 5 % biodieseliä ja 95 % tavallista dieselöljyä. Kaikki 1990-luvun puolivälin jälkeen valmistetut dieselautot ovat yhteensopivia B5-biodieselin kanssa. Yleensä autonvalmistajat eivät suosittele käytettäväksi yli 5 % biodieselseoksia. Tästä huolimatta B20-seosta ja jopa puhdasta biodieseliä käytetään eri puolilla maailmaa (Tyson et al. 2006). Biodiesel on biohajoavaa. Sen hajoamisnopeus on noin 4 kertaa suurempi kuin dieselin. Tämän takia biodieselillä on heikompi varastointikestävyys. Toisaalta onnettomuuksien yhteydessä luonnolle ei aiheudu yhtä suurta vahinkoa. Biodiesel on käytännössä myrkytöntä ihmiselle. Se ei aiheuta iholla ärsytystä eivätkä pienet määrät nieltynäkään aiheuta vaaraa (Hampel Oil Distributors 2007). Koska nykyään dieselistä on poistettu lähes kaikki rikki, polttoaineen voitelevuusominaisuudet ovat kärsineet. Biodieselillä on normaalia dieseliä matalampi viskositeetti ja jo pienet (1-2 %) pitoisuudet biodieseliä nostavat polttoaineen voitelevuutta merkittävästi. Tämä parantaa polttoainejärjestelmän kestävyttä. Liuotinominaisuudet voivat olla ongelma siirryttäessä väkevämpiin biodieselseoksiin. Biodiesel liuottaa polttoainesäiliöön kertyneitä epäpuhtauksia, jotka kulkeutuvat dieselin mukana tukkien lopulta polttoaineen ruiskusuodattimen. Vahvempiin seoksiin pitäisikin siirtyä aina asteittain, jotta biodiesel ehtii puhdistaa koneiston hiljalleen. Liuotinominaisuuksien ja polttoaineen epävarman laadun takia autonvalmistajat eivät anna takuita moottorin kestävyydestä väkevilla seoksilla (Tyson et al. 2006).

Bioetanolia voidaan käyttää sellaisenaan autojen polttoaineena, mutta se ei kuitenkaan ole kannattavaa, koska bioetanolista saadaan vähemmän energiaa kuin tavallisesta bensiinistä. Etanolia voidaan teknisesti käyttää bensiiniin sekoitettuna noin 10 %:n pitoisuuksiin asti tavallisissa bensiiniautoissa. Yli 10 %:n seoksina etanolia voidaan käyttää vain autoissa, joiden moottori ja polttoainejärjestelmä ovat alkoholeille tarkoitettuja. (Ikonen et al. 2000). Bioetanolista valmistetaan useimmiten biobensiiniä. Tällöin etanolia sekoitetaan bensiinin sekaan, jolloin se nostaa bensiinin oktaanilukua ja happimäärää. Lisääntynyt happimäärä vähentää haitallisia hiilimonoksidipäästöjä ja oktaaniluvun nousu taas vähentää MTBE:n tarvetta. MTBE:tä käytetään yleisesti bensiinin oktaaniluvun nostamiseen, mutta se on luonnolle erittäin haitallista sen hitaan biologisen hajoavuuden ja pohjavesien pilaantumisvaaran takia (Työterveyslaitos 2007) ja käyttö on muun muassa

kielletty Yhdysvalloissa. Bioetanolia voitaisiinkin siis käyttää eräänlaisena luontoystävällisenä MTBE:n korvaajana (Kiviranta & Siitonen 2005).

Ensimmäisen sukupolven esteröimällä valmistettu biodiesel, kuten myös normaali fossiilinen diesel, on kovilla pakkasilla käyttökeltvotonta. Aluksi polttoaine samenee ja muuttuu geelimäiseksi. Lämpötilan laskiessa polttoaine jäykistyy entisestään ja muuttuu käyttökeltvottomaksi. Laimeissa seoksissa (kuten B5) ero dieseliin on mitätön, mutta B100 alkaa samentua jo 0° C alapuolella. Lisäaineilla biodieselseosten kylmäkestävyyttä voidaan parantaa huomattavasti (National Biodiesel Board 2007).

Biodieselin ja bioetanolin käyttökohteiden ja – teknologioiden vaikutuksista päästöihin sekä kokonaisenergiapanostuksiin on olemassa ristiriitaisia tutkimuksia, joiden tuloksia siteerataan medioissa ja muissa tutkimuksissa. Esimerkiksi VTT:n tutkimus vuodelta 2000 toteaa, varsinaisten lainsäädännöllä rajoitettavien pakokaasupäästöjen (CO-, HC-, NO_x, -hiukkaset) suhteen minkään biopolttoaineen käyttö, metaania lukuun ottamatta, ei tuo nykyautoissa merkittäviä etuja vaan nykytekniikalla biopolttoaineiden suurin etu on mahdollisuudessa vähentää fossiilista CO₂-päästöä (Ikonen et al. 2000). Biodiesel vähentää tutkimuksen mukaan merkittävästi juuri pienhiukkas-, hiilimonoksidi- ja hiilivetypäästöjä, vaikka lisää hieman typen oksidien päästöjä. Lisäksi biodieselin todetaan olevan käytännössä rikitöntä. Sen sijaan biodieselin vaikutuksista hiilidioksidipäästöihin on ristiriitaista tietoa tässäkin tutkimuksessa. Liikenteen aiheuttamiin päästöihin vaikuttaa biodieselseoksen väkevyys ja käytetty raaka-aine, kun taas koko elinkaaren päästöihin tulisi laskea myös raaka-aineiden viljelyn aiheuttamat päästöt (USEPA 2002). World Watch Institute:n johtajan Lester Brownin vuonna 2006 kokoama artikkeli tuo esille sen tosiasian, että käyttökohteissa ja – teknologioissa saavutettavat hyödyt eivät itsessään vielä tee biopolttoaineista ympäristöystävällisiä juuri esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöjen kohdalla vaan tutkimuksissa pitäisi pystyä laskemaan tuotteen koko elinkaari pelloilta siihen saakka, kun polttoaine vapautuu moottorista palettuaan takaisin ilmakehään. Brownin artikkelissa tuodaan esille tämä seikka bioetanolin tapauksessa, jossa bioetanolin palaminen moottorissa vapautti 13 prosenttia vähemmän kasvihuonekaasuja fossiiliseen polttoaineeseen verrattuna, mutta hyöty saatiin vain, jos tuotantoketjussa myös sivuenergiavirrat (tässä tapauksessa maissista tuotettu eläinrehu) käytettiin hyödyksi (Brown 2006). Tämän vuoksi käyttökohteissa – teknologioissa saataviin parannuksiin pitää suhtautua vain osana biopolttoaineiden hyödyllisyyttä ja on pyrittävä havainnollistamaan

elinkaaren kokonaisuus mahdollisimman laajasti. Toisen sukupolven biodiesel ja muut biopolttoaineet tuovat tähänkin asiaan todennäköisesti merkittäviä parannuksia jo lähitulevaisuudessa.

3. Ympäristö

3.1 Ilmasto

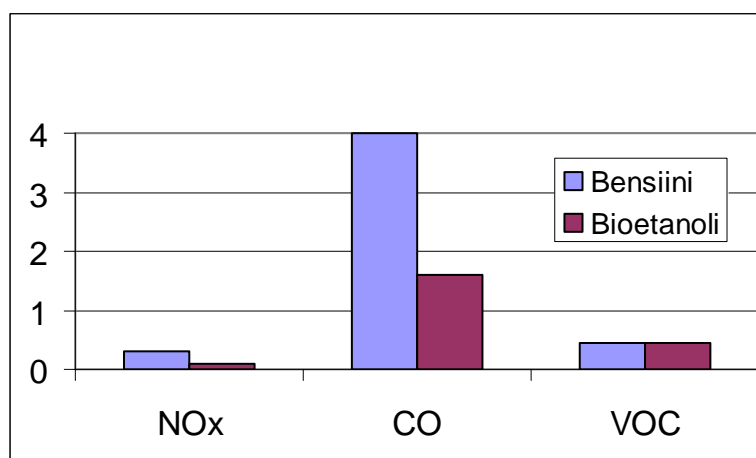
Ilmaston lämpeneminen ja kasvihuonekaasupäästöt liitetään usein osaksi keskustelua biopolttoaineista. Kasvihuonekaasut ovat ilmakehän kaasuja, jotka imevät ja heijastavat auringosta tulevaa ja maanpinnalta heijastuvaa lämpösäteilyä ja saavat näin aikaan elämän kannalta välttämättömän kasvihuoneilmiön. Tärkeimpiä kasvihuonekaasuja ovat vesihöyry (36 -70 %), hiilidioksidi CO₂ (9 - 26 %), metaani CH₄ (4 - 9 %) ja otsoni O₃ (3 - 7 %). Tärkein ihmisen tuottama kasvihuonekaasu on hiilidioksidi (Pearson & Palmer 2000). Maailman kasvihuonekaasupäästöjen on laskettu kasvaneen vuodesta 1970 – 2004 välillä kaikkiaan noin 70 prosenttia ja liikennesektorin kasvu itsessään on tänä aikana ollut 120 prosenttia. Kasvihuonekaasupitoisuudet ovat olleet kasvussa jo useamman vuosikymmenen ja pelkillä nykyisillä rajoituksilla kasvun uskotaan jatkuvan mahdollisesti vielä useiden vuosikymmenten ajan (IPCC 2007).

Koska liikennesektorin kasvihuonekaasupäästöt ovat energiantuotannon (145 %) jälkeen kasvaneet toiseksi eniten, on pyritty löytämään keinoja tämän kehityskulun muuttamiseksi. Biopolttoaineet nähdään tässä tilanteessa yhtenä merkittävimpänä mahdollisuutena ja useita tutkimuksia biopolttoaineiden mahdollisesta, erityisesti hiilidioksidipäästöjä, vähentävästä vaikutuksesta on tehty (kuva 15).

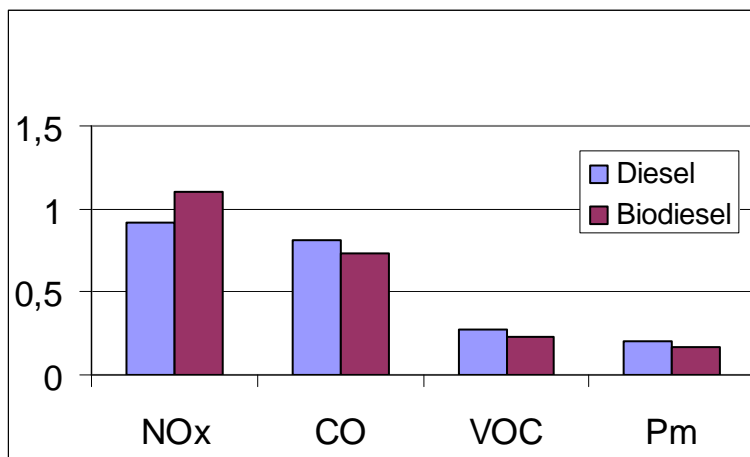
	GHG emissions					
	Results of the ADEME/DIREM study (December 2002)			Results of the JRC/EUCAR/CONCAWE study (May 2006)		
	gCO ₂ -eq/MJ	Reference gCO ₂ -eq/MJ	Gains versus reference oil-based automotive fuel	gCO ₂ -eq/km	Reference (gCO ₂ -eq/km)	Gains versus reference oil-based automotive fuel
Ethanol, from wheat	34.4	85.9	60%	114	164	30%
Ethanol, from sugar beet	33.6	85.9	61%	111	164	32%
Ethanol, from lignocellulosic material	not given	–	–	36	164	78%
Ethanol, from sugar cane	not given	–	–	19	164	88%
Biodiesel, rapeseed	23.7	79.3	70%	73	156	53%
Biodiesel, sunflower	20.1	79.3	75%	34	156	78%
Pure rapeseed vegetable oil	17.8	79.3	78%	not given	–	–
Pure sunflower vegetable oil	13.2	79.3	83%	not given	–	–
BTL (from forest and farm waste)	not given	–	–	10	156	94%

Kuva 15. Kasvihuonekaasupäästöjen vertailu biopolttoaineiden ja fossiilisten polttoaineiden kesken (Bouvar et al. 2006).

Biopolttoaineiden ilmastolliset vaikutukset vaihtelevat kuitenkin paljon erityisesti raaka-ainekasvin, viljelymetodien ja tuotantoprosessin perusteella (IPCC 2007). On ilmestynyt myös tutkimuksia, jotka kääntävät aselman ylösalaisin eli ehdottavat erityisesti ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden tuotannon päinvastoin lisäävän kasvihuonekaasupäästöjä, kun huomioidaan koko tuotantoprosessi (Righelato & Spracklen 2007). Kuitenkin biopolttoaineiden absoluuttiset päästömäärät ovat useiden vertailevien tutkimusten perusteella useimmiten edullisia fossiilisiin polttoaineisiin verrattaessa vaikka kovin merkittävistä eroista ei voidakaan puhua (kuvat 16 ja 17).

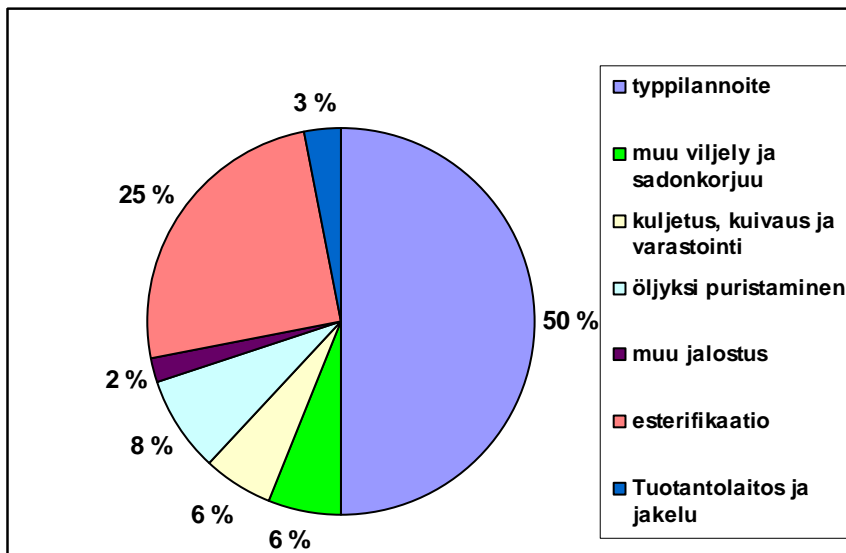


Kuva 16. Bensiinin ja bioetanolin päästöjen suhteellista vertailua (VRMO 2005).

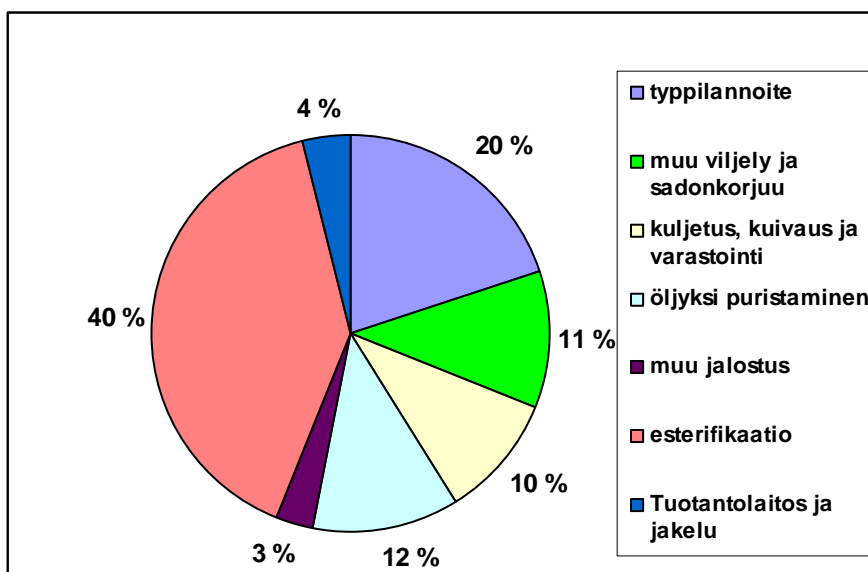


Kuva 17. Dieselin ja biodieselin päästöjen suhteellista vertailua (VRMO 2005).

Biopolttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjen arviointi on moniulotteinen ja vaativa prosessi ja esimerkiksi VTT (Mäkinen 2005) painottaa niissä otettavan huomioon muun muassa viljelyn aiheuttamat muutokset maankäytössä, sivutuotteiden kuten oljen hyödyntämisen, lannoitteista aiheutuvien N₂O päästöjen arvioinnin ja mahdollisen biopolttoaineen valmistusprosessin yhteydessä saatavan sähköenergian hyödyntämisen. Kasvihuonekaasupäästöjä arvioitaessa on myös tärkeä huomata, että niiden suhteelliset osuudet vaihtelevat merkittävästi prosessin eri vaiheissa (kuva 18). Lisäksi on syytä huomata, että kasvihuonekaasujen välillä on samaa vaihtelua sen perusteella missä osassa prosessia niitä vapautuu. Esimerkiksi typen oksidit vapautuvat eri prosesseissa kuin hiilidioksidi, jonka vähentämiseen päästöjen vähentämiseen moni biopolttoainehanke tähtää (kuva 19).



Kuva 18. Kasvihuonekaasupäästöjen suhteellinen jakautuminen rapsibiodieselin tuotannossa (Horne et al. 2003).



Kuva 19. Hiilidioksidipäästöjen suhteellinen jakautuminen rapsibiodieselin tuotannossa (Horne et al. 2003).

3.2 Viljelyn vaikutukset

Biopolttoaineiden raaka-ainekasvien intensiivinen viljely kasvattaa eroosioriskiä viljelyalueilla. Esimerkiksi EU:n alueella on tulevaisuudessa oletettavissa kasvavia ongelmia eroosion suhteen, mikäli tiettyjen kasvien viljelyalat kasvavat merkittävästi tulevina vuosina. Viljellyn maaperän ominaisuudet muokkautuvat vuosien aikana muun

muassa sen perusteella miten paljon orgaanista ainesta viljelykasvista jää sadonkorjuun jälkeen pellolle ja millaisia viljely- ja korjuutekniikoita käytetään. Myös maan rakenne kokonaisuudessaan, pellon fyysiset ominaisuudet kuten kaltevuus sekä kasvipeite vaikuttavat eroosioherkkyyteen (Turley et al. 2005). Ongelmia tuottaa useimmiten vesieroosio, joka maaperän köyhtymisen lisäksi aiheuttaa ravinteiden ja viljelyssä käytettyjen kemikaalien kulkeutumista vesistöihin sekä uomien sedimentoitumista (Turley et al. 2005). Eroosioriskin suuruus vaihtelee viljeltävän kasvin mukaan ja tuo tätä kautta yhden näkökulman pohdittaessa mahdollisimman kannattavia ja ekologisesti kestäviä raaka-ainekasvilajeja. Taulukko 1 osoittaa tämän vaihtelun olevan eri lajien välillä varsin merkittävää. Vehnä ja rapsi osoittautuvat melko hyvin eroosiota kestäviksi biopolttoaineiden tuotantokasveina.

Taulukko 1. Viljellyn peltoalan riski kärsiä eroosiosta eri viljelykasvien kohdalla (Evans 2005).

sokerijuurikas	1 pelto 7:stä
maissi	1 pelto 7:stä
peruna	1 pelto 10:stä
paljas maa/kesanto	1 pelto 21:sä
kevätiljat	1 pelto 34:stä
syysviljat	1 pelto 42:sta
rapsi	1 pelto 100:sta

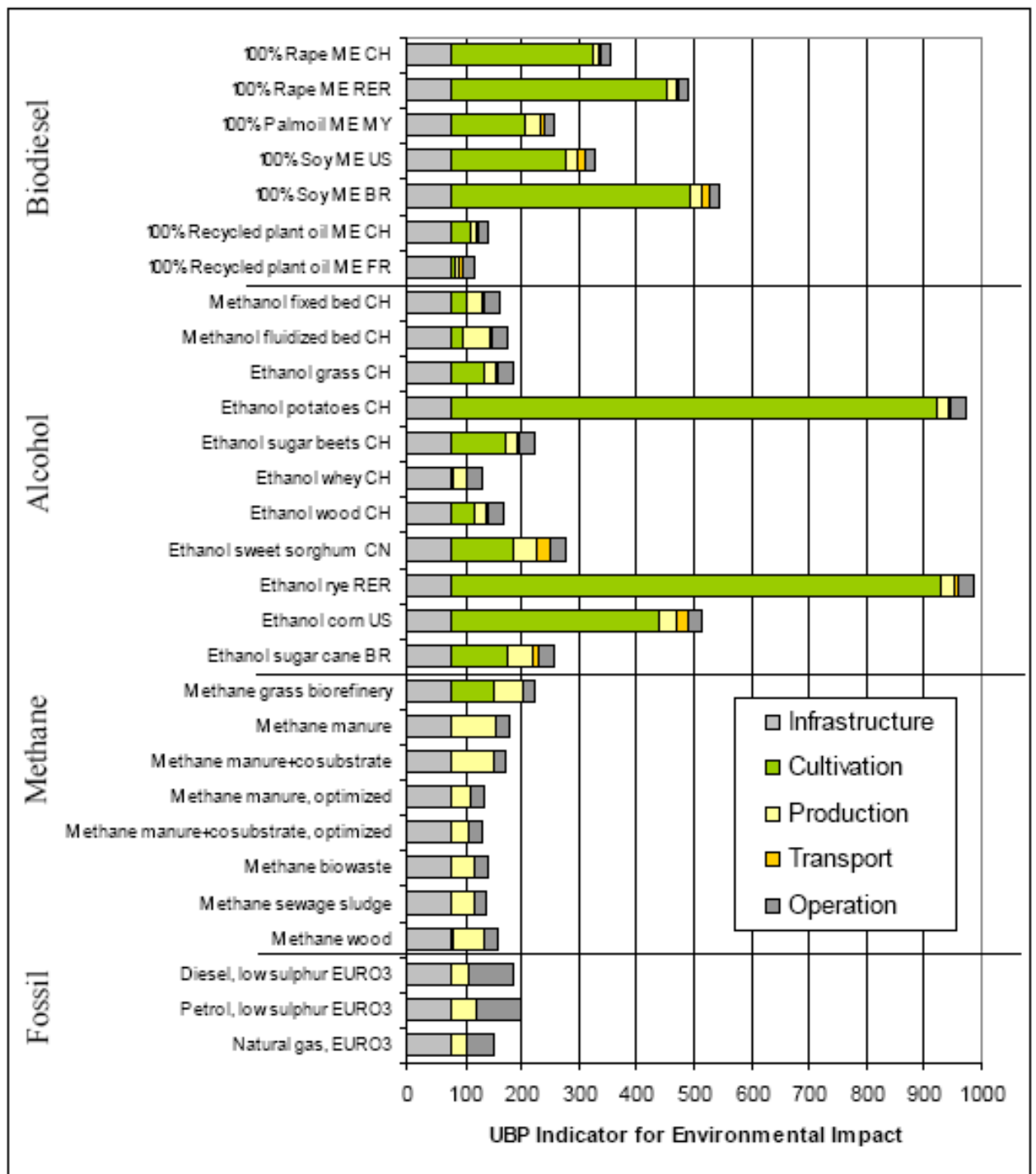
Varsinkin toisen sukupolven teknologioiden jotka pystyvät hyödyntämään koko kasvin biomassan, kohdalla esille nousee entistä voimakkaammin kysymys eroosiosta. Pellolle jää vähemmän orgaanista ainesta, kun esimerkiksi myös oljet korjataan hyötykäyttöön (Turley et al. 2003). Toisaalta huolta maaperän nopeasta köyhtymisestä tätä kautta pidetään myös liioiteltuna, koska olkien korjuun jälkeenkin esimerkiksi vehnästä jää vielä 30 - 40 prosenttia biomassasta peltoon juuriston suuren biomassaosuuden takia (Bentsen et al. 2006).

Eroosion lisäksi viljelyn uhaksi saattaa muodostua maan haitallinen tiivistyminen, jos olosuhteet ovat hyvin kosteita. Tiivistyminen on ongelma enemmän vehnän kuin rapsin kohdalla johtuen muun muassa kylvöajankohdasta (Turley et al. 2003). Rapsin kohdalla typpilannoitteesta peräisin olevien nitraattien valunta pelloilta on ajoittain ongelma tosin hyvin paljon paikallisista olosuhteista riippuen. Tässä suhteessa rapsin varsien jättäminen peltoon voi olla kokonaisvaikutusten kannalta jopa epäedullista niiden sisältämän korkean nitraattipitoisuuden takia, mikä voi aiheuttaa ravinteiden valumaa seuraavan syksyn ja talven aikana (Turley et al. 2003).

3.3. Jalostus ja kokonaisvaikutukset

Jalostus on prosessi, jossa raaka-ainekasvista lopullisesti valmistetaan eri vaiheiden kautta biopolttoainetta. Ensimmäisen sukupolven biodieselin kohdalla jalostuksen tärkein ja eniten energiaa vaativa prosessi on esteröinti, joka yhdessä öljyn puristamisen kanssa voi viedä yli 50 prosenttia koko tuotanto- ja viljelyprosessin energiapanostuksista (Horne et al. 2003). Vehnästä tuotetun bioetanolin tapauksessa jalostusprosessi saattaa vaatia jopa 75 prosenttia kaikista energiapanostuksista, koska jalostuksen vaatima höyryn- ja sähköntuotanto on suurta (Bentsen et al. 2006). Jalostuksen vaiheita ja energian käyttöä niissä eritellään tarkemmin valmistusprosessit ja case study- kappaleissa. Syksyllä 2007 OECD: n julkaisema tutkimus biopolttoaineiden ympäristövaikutuksista (Doornbosch & Steenblik 2007) esittää havainnollisen tavan tulkita ja tuoda esille halutun biopolttoaineen kokonaisvaikutuksia ympäristölle (kuva 20).

Kuvaaja jaottelee vaikutukset koko tuotantoketjun ajalta ja osoittaa käsiteltyjen bioetanolin ja biodieselin olevan yleisesti varsin tuotantokeskeisiä ympäristövaikutuksiltaan.



Kuva 20. Eri polttoaineiden suhteellisten ympäristövaikutusten vertailua eri valtioiden osalta (Doornbosch & Steenblik 2007).

4. Menetelmät

4.1 Tutkimusmenetelmät

Tutkielmani rakenne osin luonnonmaantieteellisenä opinnäytetyönä ja osin ulkopuolisen rahoittajan tilaamana raporttina asetti haasteita käytettävien menetelmien suhteen, jotta molempien osapuolten asettamat tavoitteet saataisiin mahdollisimman hyvin täytettyä. Pro gradu pohjana ovat LCA- metodia käyttävät case study- tutkimukset, joista saamiani havaintoja analysoimalla ja vertailemalla pyrin saamaan vastaukset ennalta asetettuihin tutkimusongelmiin ja hahmottamaan tilannetta yleisesti konkreettisten esimerkkien ja lukuarvojen avulla. Case study- alueet valittiin yhteistyössä ohjaajieni kanssa, jotta ne antaisivat kattavan kuvan erityisesti Euroopan ja EU:n biopolttoainetilanteesta, mutta keskittyisivät kuitenkin alueille, jossa tietyn raaka-ainekasvin ja biopolttoaineen tuotanto on reaali maailmassa kannattavaa. Osin tämän takia muun muassa Suomen tilannetta käsittelevä tutkimus ei päätnyt lopulliseen versioon opinnäytetyöstä.

LCA -pohjaisten tutkimusten lisäksi ja niitä tukemaan opinnäytetyöni sisältää aiheeseen liittyvää termistöä, jotta lukija ymmärtää oikein tekstissä esille nousevat käsitteet. Työssäni käydään myös läpi nykyisin yleisimmät ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden tuotantotekniikat ja jalostusprosessit sekä tehdään katsaus ns. toisen sukupolven biopolttoaineiden tuotantoon. Pro gradu- työni sivuaa myös biopolttoaineiden tuotannon ja käytön aiheuttamia ympäristökysymyksiä, mutta osin liian laajuuden välttämiseksi ja osin ristiriitaistenkin tutkimustulosten takia tätä aspektia ei tuoda työssäni kovin voimakkaasti esille. Tämän lisäksi työssä käsitellään päätutkimusalueena olevan EU:n strategiaa ja valintoja biopolttoaineiden suhteen ja tuodaan esille myös globaalia tilannetta biopolttoaineiden osalta. Edellä mainitut voi nähdä case study – tutkimuksia tukevana materiaalina, jotka mahdollistavat niin asiantuntijalle kuin aiheeseen erikseen perehtymättömälle lukijalle mahdollisuuden ymmärtää mitkä ovat prosessit ja syyt saatujen tulosten sekä niiden pohjalta tehtyjen johtopäätösten takana. Pro gradu- tutkielmaan on sisällytetty runsaasti taulukoita ja kuvia joiden tarkoitus on antaa selkeä kuva halutusta ilmiöstä tai tapahtumasta. Tutkielman lopussa on lisäksi erillisiä kokoavia taulukoita, jotka kokoavat yhteen aiempia tuloksia.

4.2 Lähtöaineisto

Tärkeimpinä seikkoina lähtöaineistoa valittaessa pidettiin ajankohtaisuutta, kattavuutta, luotettavuutta ja sitä, että case study – tutkimukset ovat keskenään vertailukelpoisia. Lopputyö ja raportti päätettiin toteuttaa kirjallisuuskatsauksena, koska oman vertailukelpoisen materiaalin tuottaminen case study – tutkimuksiin ei ollut mahdollista. Varsinainen lopputyömateriaali on kerätty useista eri lähteistä kirjallisessa ja sähköisessä muodossa. Työtä aloitettaessa mahdollisia lähteitä oli kerätty noin 250 kappaletta. Aiheen luonteesta johtuen lähteinä on käytetty yksittäisten tutkijoiden, EU:n, yliopistojen, valtiollisten ja yksityisten tutkimuslaitosten, alan yritysten, konsulttitoimistojen, lehtien ja yhteisöjen julkaisemaa materiaalia, jotta saataisiin mahdollisimman todenmukainen kuva juuri nykyisestä tilanteesta. Tilastodata on ollut tärkeässä osassa raportin kuvia ja taulukoita laadittaessa. Materiaalia ja aineistoa kerätessä ongelmaksi ei muodostunut sen puute vaan se, että kirjoitettua materiaalia biopolttoaineista ja niihin liittyvistä kysymyksistä on tarjolla todella paljon, joten karsintaa ja seulontaa oli tehtävä hyödyllisen tiedon irtisaamiseksi.

Aiheen ajankohtaisuus ja jatkuvien globaalien muutosten takia myös tarjolla olevan tiedon ajankohtaisuus nousi ehkä tärkeimmäksi kriteeriksi kaiken lähtöaineistoa valittaessa. Case study – tutkimukset pyrittiin valitsemaan karkeasti siten, että ne ovat vähintään 2000-luvulta, koska aihepiirin jatkuva kehitys tekee sitä aikaisemmin julkaistusta materiaalista luotettavuudeltaan kyseenalaista myös ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden osalta. Lopullisen version neljä case studya jakautuvat vuosille 2003 (Iso-Britannia: vehnä ja rapsi), 2005 (Keski-Eurooppa: rapsi ja vehnä, Espanja: vehnä) ja 2006 (Tanska: vehnä). Tanskan tapauksessa käsiteltiin sekä ensimmäisen että toisen sukupolven prosesseja, mutta muut perustuivat vielä vallitseviin ensimmäisen sukupolven prosesseihin. Ensimmäisen sukupolven prosessit valittiin tarkasteltaviksi, koska ne ovat tällä hetkellä vielä vallitsevia tuotantometodeja ja arviot toisen sukupolven kaupallisesta potentiaalista ja sen aikataulusta ovat varsin moninaisia. Lopputyön teon aikana seurattiin myös lehdissä ja muissa medioissa ilmestyviä aiheeseen liittyvää uutisointia ja osaa tästä aineistosta käytettiin myös lopullisessa versiossa.

Lopullista materiaalia valittaessa tärkeänä tekijänä oli myös käytettyjen tutkimusten puolueettomuus ja luotettavuus. Biopolttoaineisiin ja niiden ympärillä käytävään

keskusteluun liittyy paljon taloudellisia kysymyksiä sekä arvoihin ja tunteisiin pohjautuvaa materiaalia ympäristökysymysten takia. Lähdekritiikki nähtiin tämän työn kohdalla erityisen tärkeänä, jotta tulokset eivät vääristyisi puolueellisten lähteiden takia. Case study tutkimukset on pyritty valitsemaan sen perusteella, että ne antaisivat mahdollisimman objektiivisen kuvan ja olisivat osatekijöiltään mahdollisimman kattavia sekä yhteneviä. Valittujen tutkimusten takana on muun muassa eri alojen ministeriöitä (Lechon et al. 2005), yliopistojen tutkijoita (Horne et al. 2003; Diepenbrock et al. 2005; Bentsen et al. 2006) ja konsulttitoimistoja (Bentsen et al. 2006).

5. Life Cycle Assessment

LCA eli Life Cycle Assessment tarkoittaa usein elinkaarianalyysii, mutta suomenkielisissäkin tutkimuksissa yleismaailmallinen termi LCA on usein käytössä. LCA on hyväksytty tekniikka, jolla pyritään selvittämään tietyn tuotteen tai esimerkiksi palvelun määrälliset ympäristövaikutukset koko elinkaaren alusta loppuun. Sen käyttö tieteellisessä tutkimuksessa vakiintui 1970-luvulla erilaisten energia-analyysien yhteydessä. LCA: n käyttöä tutkimuksissa puoltaa se, että se erottelee eri komponentit toisistaan ja mahdollistaa niiden vertailun samalla metodologialla suoritettujen tutkimusten välillä (Horne et al. 2003). LCA: n käyttö mahdollistaa olemassa olevan datan perusteella ja sen rajoitukset huomioon ottaen juuri esimerkiksi biopolttoaineiden tuotantoketjun arvioinnin. LCA: n käyttö on tutkimuksissa kasvanut erityisesti siksi, että sen kehykset ovat yhdenmukaistettu ISO 14040 standardilla, jolloin tutkimusten vertailukelpoisuus paranee (Horne et al. 2003). Perinteinen LCA- tutkimus sisältää kuusi pääaskelta:

- Päämäärän ja skaalan valinta
- Elinkaaren osien määrittely
- Elinkaaren osien vaikutusten määrittely
- Tulosten tulkinta
- Raportointi
- Kriittinen tarkastelu

Tärkeää on myös niin sanotun toiminnallisen yksikön määrittäminen, joka voi olla bioenergian tapauksissa esimerkiksi energian (MJ), massan (kg) tai vaikkapa tilavuuden (l)

yksikkö. Oikeat parametrit määrittämällä LCA- analyysiä voidaan pitää erittäin käyttökelpoisena tutkimustapana biopolttoaineiden energiaketjuja tutkittaessa.

5.1 Kokonaisenergia

Biopolttoaineiden jalostuksen energiavirrat voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: viljelyyn ja jalostukseen. Pro gradu- työni yksi aspekti on tutkia näiden juuri näiden energiavirtojen jakautumista, koska niiden absoluuttiset määrät ja suhteelliset osuudet määräävät käytännössä kuinka kannattavaa kyseisen raaka-ainekasvin viljely ja sen jalostaminen biopolttoaineeksi on. Koko tuotantoketjun merkittävin osa kokonaisenergiankulutuksesta kuuluu selvästi jalostukseen. Tanskalaisen vehnäetanolin case study- tutkimuksessa jalostus vaati 76 prosenttia koko energia kulutuksesta, kun viljely jäi 22 prosenttiin. Loput kaksi prosenttia kuluivat kuljetuksiin (Bentsen et al. 2006). Biodieselin kohdalla energian kulutus jakautuu viljelyn, jalostuksen ja kuljetusten osalta suhteessa 35 % - 61 % - 4 % (Horne et al. 2003). Suhteet pysyvät jotakuinkin samanlaisina muissakin käytetyissä tutkimuksissa. Selvittämällä viljelyn ja jalostuksen energiavirrat, on mahdollista löytää energeettisesti epäedullisia rakenteita tuotantoprosessissa ja näin ollen yksittäisiä viljely- tai jalostusmetodeja muokkaamalla voidaan parantaa näiden osien ja koko prosessin energiataseen kannattavuutta.

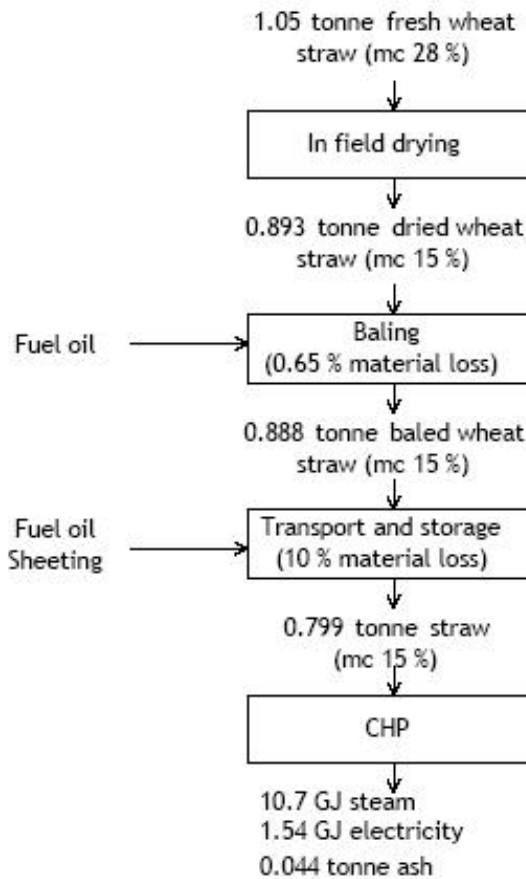
Biopolttoaineen tuotantoa kuvaavan LCA- tutkimuksen laajuudesta riippuu kuinka moneen osatekijään energiapanokset jaetaan. Viljely voidaan erottaa esimerkiksi seuraaviin komponentteihin: sähkö, koneiden valmistus, polttoaine, torjunta-aineet, lannoitteet (esim. N, P ja K) ja siemenet (Bentsen et al. 2006). Viljelyn lisäksi on huomioitava raaka-ainekasvin kuljetus jalostettavaksi, joka saattaa muodostaa hyvinkin merkittävän osan energiavaatimuksista, jos kuljetettava matka on pitkä. Valmistusprosessi jakautuu biopolttoaineesta riippuen eri osiin, joiden vaatima suhteellinen energiankulutus vaihtelee. Esimerkiksi ensimmäisen sukupolven biodieselin kohdalla esteröinti on ylivoimaisesti suurin energiankuluttaja valmistusprosessissa. Energiapanostusten jakautumista ja absoluuttisia määriä käydään tarkemmin läpi case study- osiossa ja yhteenvedossa.

5.2 Sivuenergiavirrat

Sivuenergiavirrat muodostavat biopolttoaineen tuotannosta merkittävän osan, kun koko prosessin energiavirtoja ja kokonaisympäristövaikutuksia pyritään arvioimaan mahdollisimman kokonaisvaltaisesti. Sivuenergiavirrat koostuvat biopolttoaineen tuotannon ohessa syntyvistä materiaalivirroista, jotka tuottavat tai kuluttavat prosessin energiapanostuksia.

5.2.1 Olki

Yksi merkittävä sivuenergiavirta ovat vehnän kohdalla oljet ja rapsin osalta kasvin varret. Olki muodostaa raaka-ainekasvin sato korjattaessa merkittävän biomassan lähteen ja vehnän kohdalla saatu sato jakautuu suhteessa 65 % / 35 % siemenen ja oljen kesken ja rapsin osalta suhdeluku on 50 % / 50 % (Horne et al. 2003). Koska ensimmäisen sukupolven biopolttoaineteknologiat eivät pysty käyttämään hyväkseen oljen ja varsin sisältämää selluloosaa energianlähteenä, on oljelle ja varsille keksittävä muuta käyttöä, jotta niiden tarjoama energian saantimahdollisuus ei menisi hukkaan. Yleisesti käytössä on kaksi metodia korjatun oljen ja varsien hyödyntämisen suhteen. Ne joko jätetään pellolle ja ne päätyvät parantamaan maaperän koostumusta kynnön yhteydessä tai ne kuljetetaan korjuun aikana ja käytetään lämmön ja sähkön tuotantoon, joko biopolttoaineen tuotantoprosessin yhteydessä tai itsenäisesti (Richards 2000). Esimerkkinä jälkimmäisestä toimintatavasta on case study oleva tanskalainen tutkimus vehnäbioetanolista (Bentsen et al. 2006). Tutkimuksen oletuksissa pelloilta korjatut vehnän oljet on yhdistetty osaksi bioetanolin tuotannossa vaadittavaa sähkön- ja höyryntuotantoa ja ne muodostavat merkittävän positiivisen osatekijän prosessin energiavirroissa. Samalla energiapanostuksella joka kuluisi pelkkien siementen korjaamiseen, saadaan näin myös siis polttoainetta prosessin vaatimaan energiankulutukseen eikä sitä tarvitse tuottaa prosessin ulkopuolelta. Kuvassa 21 on esitetty vastaavan kaltainen sähkön- ja höyryntuotantoprosessi.



Kuva 21. Vehnän oljen muuntaminen lämpöenergiaksi (VROM 2005).

Taulukot 2 ja 3 osoittavat olkien ja varsien talteen korjaamisen olevan varsinkin vehnän osalta todella merkittävä energiataseen osatekijä prosessin kokonaiskannattavuudessa (Richards 2000). Tutkimusta voidaan ikänsä takia kuitenkin pitää lähinnä suuntaa-antavana. Uudemmat tutkimukset kuten case studyjen tanskalaistutkimus (Bentsen et al. 2006) suhtautuvat olkien potentiaaliin varovaisemmin vaikka sen tunnistavatkin. Myös painotusta olkien ja varsien maaperää parantavaan vaikutukseen ja niiden tärkeyteen eroosion ehkäisemisessä on uudemmissa tutkimuksissa lievennetty aiempiin verrattuna (Turley et al. 2003 ; Bentsen et al. 2006). Uusimmat tutkimukset korostavat yhä useammin olkien hyödyntämisen tärkeyttä mikäli biopolttoaineen kokonaistuotantoprosessista halutaan saada mahdollisimman edullisia tuloksia energiataseen kannalta.

Taulukko 2. Rapsista tuotetun biodieselin energiatase ja olkien hyödyntäminen (Richards 2000).

	Rapsi - varret kynnetty MJ/ha	Rapsi - Varret hyödynnetty MJ/ha
Biodiesel	54346	54346
Rehu	1316	1316
Olki	0	60000
Viljely, tuotanto ja jalostus	-30505	-31162
Erotus:	25157	84500

Taulukko 3. Vehnästä tuotetun bioetanolin energiatase ja olkien hyödyntäminen (Richards 2000).

	Vehnä - Oljet kynnetty MJ/ha	Vehnä - Oljet hyödynnetty MJ/ha
Bioetanol	74189	74189
Rehu	0	0
Olki	0	97500
Viljely, tuotanto ja jalostus	-66837	-68257
Erotus:	7352	103432

5.2.2 Rehu ja proteiini

Tuotettaessa vehnästä bioetanolia ja rapsista biodieseliä saadaan prosessin sivutuotteina proteiinipitoista biomassaa, jota käytetään nautojen ja sikojen rehuna (Bentsen et al. 2006). Sekä vehnän, että rapsin kohdalla prosessi, jossa saadaan tonni biopolttoainetta tuottaa noin 1,5 tonnia rehua, joka voidaan laskea positiivisena prosessin energiabudjettiin, koska se syntyy sivutuotteena ja sen valmistukseen ei erikseen tarvitse uhrata energiapanostuksia (Horne et al. 2003). Prosessin kautta noin 34 prosenttia jyvän sisältämästä energiasta

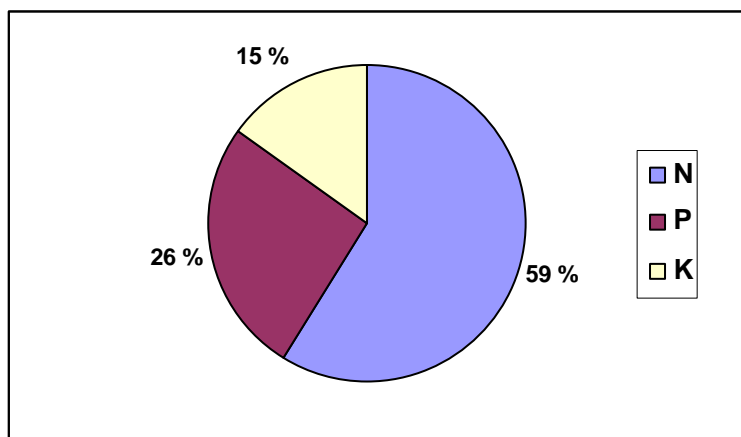
saadaan uusiokäyttöön. Biopolttoaineiden tuotannosta sivutuotteena saatava rehu voi muodostua tulevaisuudessa tärkeäksi tekijäksi, jos halutaan parantaa prosessin energiasuhdetta. Rehu muodostaa noin 10 – 15 % koko tuotannosta saadusta energiasta ja valkuaisrehusta tuodaan esimerkiksi Tanskan tapauksessa suurimmaksi osaksi ulkopuolelta (1,7 – 3,4 % / 96,6 % - 98,3 %) (Bentsen et al. 2006). Rehun maansisäinen käyttö tai yleensä sen mahdollisimman lähellä tuotantoaluetta tapahtuva käyttö ovat mahdollisuuksia pienentää kuljetuksen ja ulkopuolisen rehun tuonnin sekä käytön aiheuttamaa negatiivista energiapanosta.

5.2.3 Kuljetus ja muu infrastruktuuri

Kuljetus ja esimerkiksi tuotantolaitosten rakentamiseen kuluva energia ovat usein monimutkaisesti käsiteltäviä osatekijöitä LCA- tutkimuksissa. On olemassa tutkimuksia, jotka eivät ota niitä huomioon ollenkaan, mutta nykyisin suurimmassa osassa tutkimuksia ne lasketaan osaksi kokonaisenergiapanostuksia. Varsinkin perustamisvaiheessa tuotantolaitosten infrastruktuuri ja sen mahdollinen rakentaminen on merkittävä energiapanostus ja raaka-aineiden, kuten esimerkiksi teräksen, maailmanmarkkinahintojen nousu voi kaataa koko biopolttoainetuotantolaitoksen rakentamisen, kuten suomalaisen Altian bioetanolitehdasprojektille tapahtui (HS 2007). Pitkällä aikavälillä kuljetus ja tuotantokustannukset eivät kuitenkaan muodosta kuin murto-osan kokonaisenergiapanostuksista, esimerkkinä Iso-Britannian olosuhteita käsittelevä case study, jossa biodieselin tuotannon energiakulutuksesta jakelulle ja tuotantolaitoksille oli laskettu vain neljän prosentin osuus (Horne et al. 2003). Samaa suuruusluokkaa oli energiapanostuksen osuus myös tanskalaisessa case study- tutkimuksessa. Kuitenkin, jos kuljetusmatkat jalostamoilta venyvät liian pitkiksi, muuttuu tilanne merkittävästi. Tämän vuoksi samaisessa tutkimuksessa jalostamojen maantieteellinen sijoittaminen mahdollisimman edullisten liikenneverkkojen lähelle nähtiin olennaisena energeettisen kannattavuuden kannalta (Bentsen et al. 2006). Osin energiapanostusten tarvetta vähentää se, että bioetanolin ja biodieselin jakelu voidaan suorittaa jo olemassa olevalla infrastruktuurilla eikä täysin uutta jakeluverkostoa tarvita (EU 2006).

5.2.4 Lannoitus

Vehnän ja rapsin viljely bioetanolin ja biodieselin raaka-aineiksi ovat intensiivistä maataloutta ja vaativat merkittäviä energiapanostuksia, jotta kannattavuuden kannalta riittävät satotasot saavutetaan. Iso-Britannian vehnän keskimääräisellä satotasolla (noin 8000 kg/ha) lannoitus vaatii noin 34 prosenttia koko viljelyn vaatimasta 10759 MJ/ha energiapanostuksesta. Tämä vastaa prosenteissa noin 28 prosenttia koko tuotantoketjusta (Horne et al. 2003). Lannoitteiden vaatima 34 prosenttia viljelyn energiapanostuksista jakautuu kuvan 22 mukaisesti eli typpilannoite on määrävänä tekijänä.



Kuva 22. Lannoituksen aiheuttaman energian kulutuksen jakautuminen vehnän viljelyssä (Horne et al. 2003).

Rapsin viljelyssä lannoitus on merkittävämmässä osassa, kuin vehnän kohdalla vieden peräti 89 prosenttia viljelyyn käytettävästä energiasta. Tästä määrästä 86 prosenttia on typpilannoitetta ja loput 14 prosenttia muun muassa kalkkia, fosfaattia ja kalisuolaa. Kokonaisuudessaan typpilannoite muodostaa 24 prosenttia koko biodieselin tuotantoketjun vaatimasta energiapanostuksesta, ollen jalostusvaiheen esteröinnin jälkeen toiseksi merkittävin yksittäinen energiaa vaativa komponentti (Horne et al. 2003). Muut tutkimukset eivät anna yhtä tarkkoja lukuarvoja lannoitteiden kohdalta, mutta tanskalaistutkimuksessa vehnän viljelyn kokonaisenergiapanostuksista vaatima 22 prosenttia lasketaan kuluvan pääosin lannoitteiden ja polttoaineen kulutuksen kesken (Bentsen et al. 2006).

5.5 Energiatehokkuus

Biopolttoaineen energiatehokkuuden ja energiataseen on oltava mahdollisimman paljon positiivinen, jotta biopolttoaineen tuotanto tulee kannattavaksi. Aiemmat arviot ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden energiataseista sijoittuvat vehnästä tuotetun bioetanolin kohdalla vaihteluvälille 0,7 – 2,7 ja rapsista tuotetun biodieselin kohdalla 2,3 – 4,4 (Powlson et al. 2005). Uudempien, tässäkin työssä case study -tutkimuksina käytettyjen, arviot ovat kuitenkin alhaisempia. Suuret vaihtelut raaka-ainekasvien välillä ja sisällä johtuvat tuotanto- ja jalostusketjujen monista muuttujista joiden mallintaminen yhtäläisesti mahdollisesti hyvinkin erilaisissa olosuhteissa on varsin haastavaa. Suhteellisessa vertailussa fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna Case study – osiossa ja yhteenvedossa käydään läpi tarkemmin mistä nämä eroavaisuudet johtuvat ja miten niiden vertailu on mahdollista. Biopolttoaineiden koko tuotantoketjun mahdollisimman positiivinen energiabalanssi on noussut korostetusti esiin, kun biopolttoaineiden positiivisia ympäristövaikutuksia on alettu kyseenalaistamaan (Righelato & Spracklen 2007).

6. EU ja biopolttoaineet Euroopassa

Kappaleessa luodaan referaatinomaisesti kuva EU:n suhteesta biopolttoaineiden tuotantoon ja käyttöön lähinnä EU-komission julkaisujen perusteella. Sen lisäksi EU:n alueelta nostetaan esille neljä erillistä aluetta case study- tutkimuksin, jotka toimivat sekä itsenäisinä tutkimuksina energiasuhteista ja prosesseista, sekä vertailukohtana keskenään EU:n sisällä. EU:n lisäksi esitellään kolme tämän hetken merkittävintä biopolttoaineiden tuottoaluetta eli USA, Brasilia sekä Kaakkois-Aasia ja pyritään näin saamaan vertailukohtia EU:n tilanteelle. Globaalilla tasolla tuodaan esille muun muassa biopolttoaineiden tuotantomääriä ja -kehitystä, maailmanmarkkinatilannetta, alueellisia painotuksia sekä tulevaisuuden näkymiä. Biopolttoaineet ovat hyvä esimerkki globaalista kehityksestä, joka kuitenkin on sidottuna alueellisiin painotuksiin ja olosuhteisiin ja niiden tarkastelu tätä taustaa vasten on sekä haasteellista, että mielenkiintoista.

6.1 EU

EU:n biopolttoainehistoria nykymuodossaan alkaa vuodesta 2001, jolloin EU-komissio aloitti keskustelun liikenteen vaihtoehtoisista polttoaineista nostaen esiin konkreettisina vaihtoehtoina biopolttoaineet, maakaasun ja vedyn. Tämän seurauksena syntyi vuonna 2003 EU:n biopolttoainedirektiivi, joka muun muassa vaatii jäsenvaltioita edistämään biopolttoaineiden käyttöä esimerkiksi verohelpotusten kautta (taulukko 31) (EU 2005).

Taulukko 4. Eri EU-maiden määrittelemiä biopolttoaineosuuksia polttonesteissä (Doornbosch & Steenblik 2007).

Member State	2006	2007	2008	2009	2010
Austria	2.5	2.5	4.3	5.75	5.75
Finland	-	-	2	4	5.75
Germany	-	diesel: 4.4	Diesel: minimum quota applies also to subsequent years		
		gasoline: 1.2	gasoline: 2	gasoline: 2.8	gasoline: 3.6
		-	-	total quota: 6.25	total quota: 6.75
Luxembourg	-	2	n.a.	n.a.	n.a.
Netherlands	-	2	progressive annual increase	progressive annual increase	5.75
Slovakia	2	2	2	2	5.75
Slovenia	1.2	2	3	4	5
Spain	-	-	-	3.4	5.83
United Kingdom	-	-	2.5	3.75	5

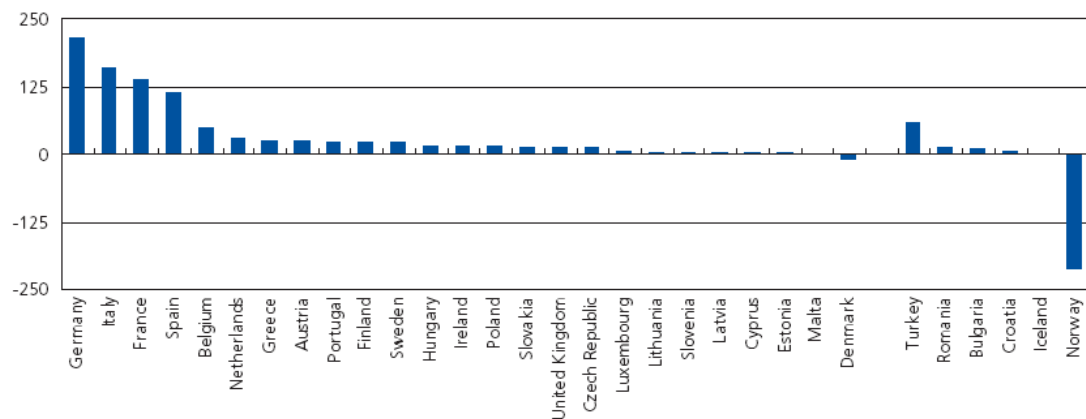
EU-komissio on vuonna 2006 laatinut koko EU:ta kattavan biopolttoainestrategian. Biopolttoaineiden kehittämisen tärkeyttä kuvastaa se, että EU:n alueella liikenne on vastuussa 21 % kaikista kasvihuonekaasupäästöistä, jotka vaikuttavat lisäävästi ilmaston lämpenemiseen ja tämä prosenttiosuus tulee nousemaan lähivuosina (EU 2006). On siis ensiarvoisen tärkeää, että EU löytää keinoja kasvihuonekaasupäästöjensä pienentämiseen, jotta on mahdollista saavuttaa Kioton sopimuksessa määrätyt kasvihuonekaasurajat ja EU:n itse itselleen asettamat, varsin kunnianhimoiset, biopolttoaineiden käyttörajat. Hankaluuksia tämän tavoitteen saavuttamiseen tuo myös se, että tällä hetkellä lähes koko

EU:n liikennesektori toimii fossiilisen öljyn varassa, jonka saatavuus tulevaisuudessa tulee rajoittumaan ja keskittymään harvoille tietyille alueille maailmassa. EU:n kannalta mahdollisia riskejä ovat poliittiset muutokset öljyntuottajamaissa tai – organisaatioissa, joka saattaa pahimmillaan johtaa fossiilisen öljyn saatavuuden heikkenemiseen tai jopa täydelliseen ehtymiseen (CIEP 2004). Myös EU:n sisäiset radikaalit poliittiset muutokset voivat aikaansaada tilanteen, jossa teollisuuden mahdollisuudet hyödyntää fossiilista öljyä romahtavat. Kuvissa 24 ja 25 nähdään kuinka juuri EU:n ydinalueet ja väkirikkaimmat maat ovat myös eniten ulkopuolisesta energiasta riippuvaisia. Kaavioista nousevat esiin omavaraisina ja energian viejinä ainoastaan Tanska ja Norja.

Figure SP.5: Net imports of energy, 2004 (1)

(million tonnes of oil equivalent)

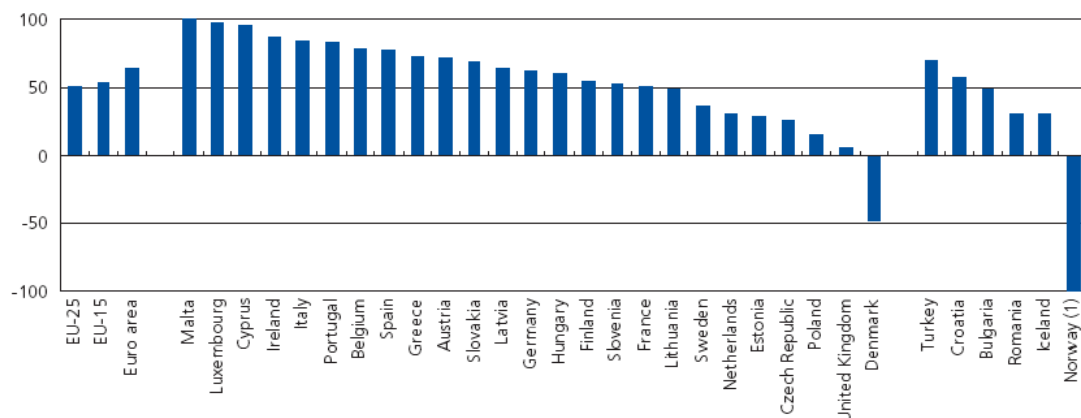
TEN00083



Kuva 24. Eurooppalaisten maiden energiataseita (tuontienergia – vientienergia, suora sähkön siirto pois lukien) (Eurostat 2007).

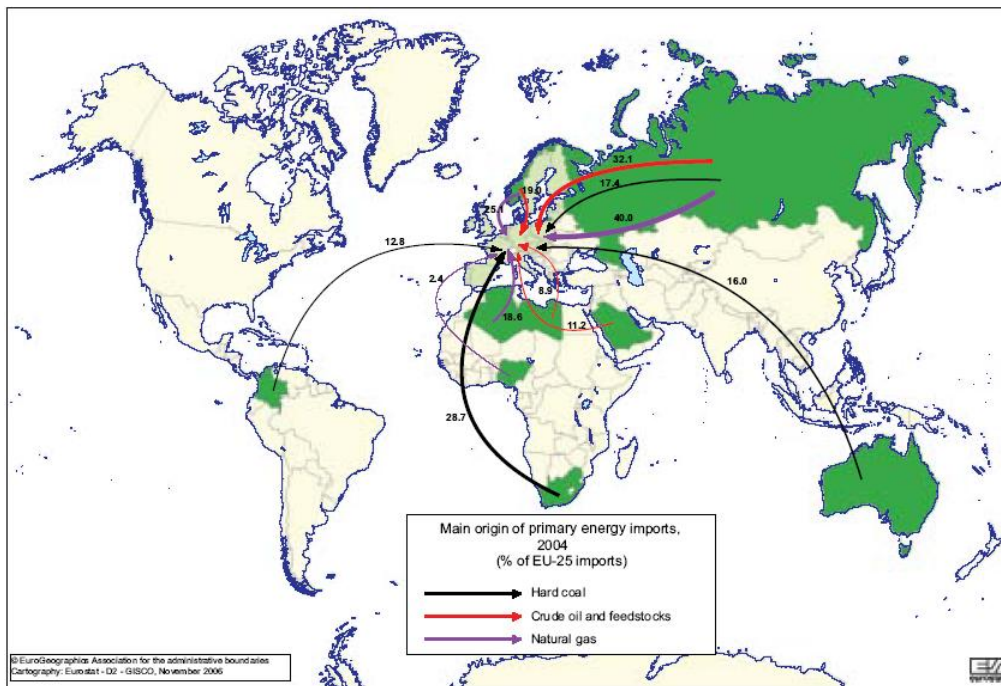
Figure SP.8: Energy dependency rate — all products, 2004

(% of net imports in gross inland consumption and bunkers, based on tonnes of oil equivalent)



Kuva 25. Eurooppalaisten maiden energiariippuvuusindeksi (energian tuonti jaettuna kulutuksella – negatiiviset arvot osoittavat energian viejät) (Eurostat 2007).

Muun muassa edellä mainittujen seikkojen takia EU kokee välttämättömäksi löytää uusia energialähteitä, joiden kautta voidaan vähentää tuonnista riippumattomuutta (kuva 26). Näiden uusien energialähteiden ja teknologioiden kehittämiseksi tasolle, jossa ne ovat laajemmin hyödynnettävissä, vaaditaan EU:ssa laajoja poliittisia toimia. Näitä voivat olla muun muassa autonvalmistajien kannustaminen kehittämään uusia puhtaammin toimivia ja polttoainetehokkaampia malleja sekä ottamaan käyttöön täysin uusia teknologioita. Myös julkisen liikenteen käyttöä tulee kannustaa laajemmin ja muutoinkin edistää tilannekohtaisesti ympäristöystävällisimmän liikennemuodon käyttöä. Uudet teknologiat ja polttoaineet ovat tämän kaltaisessa ajattelussa avainasemassa (EU-komissio 2006). EU:n taholta biopolttoaineiden kehityksen tukeminen pitää sisällään myös aluepoliittisia tekijöitä ja uusien viljelykasvien ja kasvaneen kysynnän toivotaan tuovan maaseutualueille työpaikkoja ja monipuolistavan maatilojen tulonsaantimahdollisuuksia. Vaikka nykyiset teknologiat eivät EU:n kannalta ole vielä riittävän kustannustehokkaita, kokee EU-komissio, että toisen sukupolven biopolttoaineiden kehitystä on jatkettava ja muun muassa lainsäädännöllisin keinoin tuettava, koska tulevat hyödyt nähdään suurempina kuin nykyiset kustannukset. Nykyinen strategia ei ole kiveen hakattu vaan biopolttoaineiden kehitystä tullaan seuraamaan EU:n toimesta tarkkaan ja tekemään tarvittaessa muutoksia lähestymistapaan (EU-komissio 2006).



Kuva 26. Energiantuonti Eurooppaan (EU25) vuonna 2004 (%) (Eurostat 2007).

6.1.1 Strategia

EU-komissio on laatinut useita selvityksiä EU:n strategiasta biopolttoaineita kohtaan, joista tärkeimpinä Biomass Action Plan vuodelta 2005 ja EU:n biopolttoainestrategia vuodelta 2006 (EU-komissio 2005 ;2006). Biopolttoainestrategiassa tärkeimpinä kokonaistavoitteina nähdään biopolttoaineiden ja niihin liittyvien teknologioiden jatkuva kehittäminen ympäristösyistä, mutta samalla kilpailulliset tekijät huomioon ottaen sekä EU:n sisällä että kehitysmaissa. Lisäksi EU:n lopullisena tavoitteena on saada biopolttoaineet jokapäiväiseen käyttöön parantamalla kustannustehokkuutta esimerkiksi teho-optimoidun viljelyn, toisen sukupolven polttoaineiden kehittämisen, pioneeriprojektien jatkamisen kautta sekä tukemalla teknologisia innovaatioita. Kehitysmaat nähdään tärkeässä roolissa EU:lle biopolttoaineiden raaka-aineiden ja itse biopolttoaineiden tuottajina. EU:n tarkoitus onkin tukea kestäväää biopolttoaineiden tuotantoa kolmansissa maissa, koska se lievittää paineita EU:n sisäisen tuotannon riittävyydeltä (EU-komissio 2006). Edellä mainitut toimet ovat lähinnä suuntaviivoja, mutta eivät itsessään vielä vastaa kysymykseen millä käytännön toimilla näihin tavoitteisiin on tarkoitus päästä.

6.1.2 Hyötyjen ja uhkakuvien arviointi

Vaikka EU-komission Biomass Action Plan onkin kattava ja luotettavan toimijan taholta tuotettu tutkimus, on hyvä nostaa esiin joitakin seikkoja, joita ei niiden moniulotteisuuden takia ole voitu ottaa huomioon tutkimuksessa. Näiden seikkojen takia tuloksiin pitää suhtautua tietyllä harkinnalla. Biomass Action Plan tekee tulkintansa olettaen, että sen ehdottamalla biopolttoainestrategialla ei ole vaikutusta seuraaviin tekijöihin (EU-komissio 2006).

- EU:ssa tapahtuvaan sisämarkkinoille tarkoitettuun elintarviketuotantoon.
- maaseutu- ja metsäalueiden biodiversiteetteihin kohdistuvaan paineeseen EU:n sisällä.
- lisääntyneeseen paineeseen maaperälle ja vesistöille EU:n sisällä.
- kyntämättömän maa-alan vähenemiseen.
- yleiseen suuntautumiseen kohti ympäristöystävällisempiä viljelytekniikoita

- metsäbiomassan vähenemisen vaikutuksiin maaperän ravinnetasapainoon ja eroosiorisktiin.

Koska EU-komission Biomass Action Plan käsittelee myös biomassasta tuotetun lämmön ja sähkön hyödyntämistä kaikki edellä mainitut tekijät eivät ole yhtä olennaisia tarkasteltaessa liikennekäyttöön tarkoitettuja biopolttoaineista.

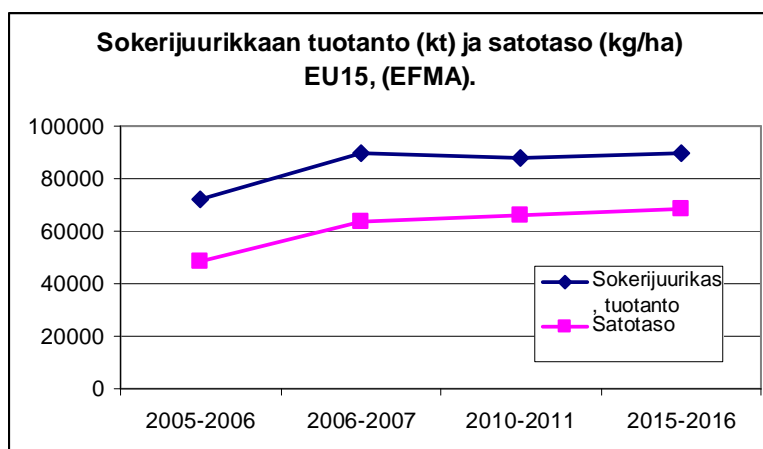
6.1.3 Tuotanto, sen riittävyys ja kuljetus kolmansilta alueilta

Tärkeitä kysymyksiä EU:n suhtautumisessa biopolttoaineisiin ja niiden käytön lisäämiseen ovat muuan muassa raaka-aineiden hankinta ja omavaraisuusaste. Biopolttoaineet ja niiden raaka-aineet ovat avointa kauppatavaraa maailmanmarkkinoilla ja niiden hinta ja saatavuus voivat vaihdella. Esimerkiksi EU:n oma polttoaine-etanolin tuotanto oli vuonna 2006 1,565 miljardia litraa (Agra Europe 2007b). EU:n kannalta täydellisen omavaraisuuden tavoittelua biopolttoaineiden ja niiden raaka-aineiden tuotannossa ei nähdä sen enempää kannattavana kuin käytännössä mahdollistakaan (EU-komissio 2006). EU:n kannalta on merkittävää saavuttaa optimaalinen tasapaino oman alueen tuotannon ja tuonnin välillä. Bioetanolin kohdalla tärkeimpiä säätelykeinoja ovat tullit. EU:ssa tuotetun bioetanolin hinnan arvellaan vuonna 2010 olevan noin 32 % kalliimpaa kuin Brasiliassa sokeriruo'osta tuotetun kilpailijansa (EU-komissio 2006). EU:ssa tuotettu bioetanol on kuitenkin tullimaksujen jälkeen halvempaa kuin tuontietanol. Ilman tariffeja EU:n olisi tällä hetkellä hyvin vaikeaa rakentaa omaa biopolttoaineiden tuotantoa tulevaisuutta ajatellen. Nykyisessä tilanteessa tosin jopa tuontibioetanol on vielä epäedullisessa kilpailutilanteessa bensiiniin verrattuna (BAP 2005). Biodieselin kohdalla ei ole käytössä tariffeja tai ne ovat alhaisia. Tämä johtuu siitä, että EU:n alueella tuotettu biodieselin valmistukseen soveltuva rapsiöljy on maailmanmarkkinahinnaltaan kilpailukykyistä verrattuna sen pääkilpailijoihin eli tuotuun soiija- ja palmuöljyyn. Soiija- ja palmuöljy ovat maailmanmarkkinahinnoiltaan halvempia, mutta pelkästään niistä valmistettu dieselpolttoaine ei täytä EU:n käyttämän EN14214-standardin vaatimuksia biodieselistä tai FAME:stä. Standardia täyttämättömiä biopoltonesteitä ei ole luvallista myydä muokkaamattomille kulkuneuvoille. Rapsista valmistettu diesel täyttää tämän standardin vaikka siihen olisi lisätty hieman (n. 25 %) soiija- tai palmuöljystä valmistettua biodieseliä. EU-komission aikomuksissa on muuttaa EN14214-standardia niin, että muiden kuin rapsiöljyjen määrä biodieselissä voitaisiin nostaa 50 prosenttia (EU-komissio 2006).

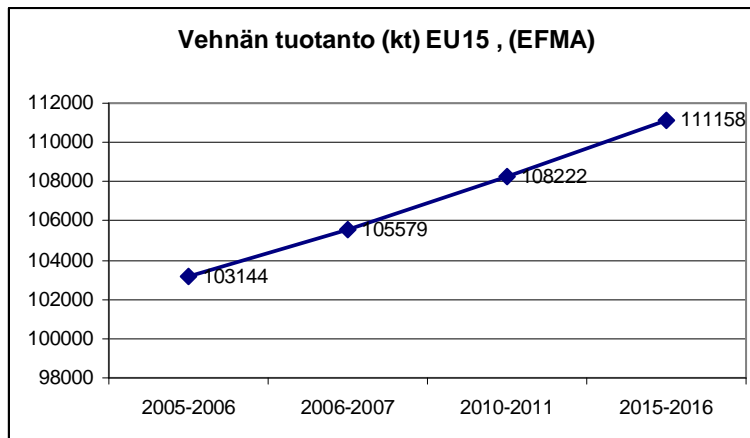
EU-komission Biomass Action Plan – selvityksessä biopolttoainedirektiivin vaatimien tavoitteiden täyttämiseksi nähdään kolme eri lähestymistapaa:

- Omavaraisuus ja tuonnin minimointi
- Tuonnin maksimointi
- Välimuoto

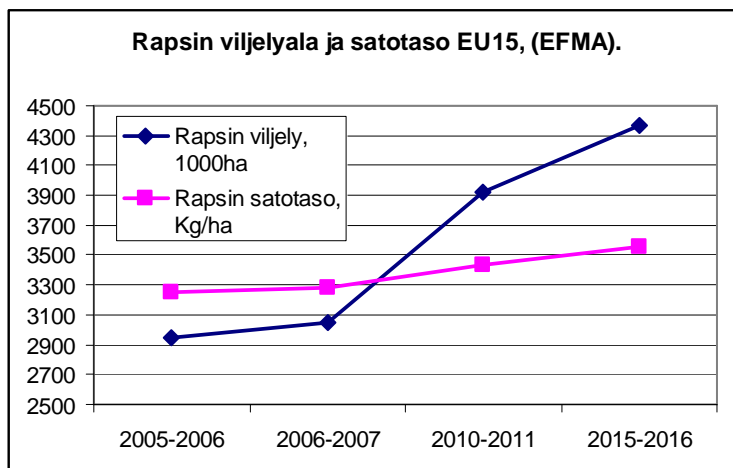
Omavaraisuuteen perustuvan lähtökohdan pääongelmana ja selvityksen kohteena on se, onko biopolttoaineiden raaka-ainekasveille olemassa tarpeeksi viljelyalaa EU:ssa. Komission arvion mukaan, jotta 5,75 % tavoite vuodelle 2010 biopolttoaineiden käyttöosuudesta liikennepolttoaineissa saavutetaan, on tarvittavan biopolttoaineen määrän vastattava 18,6 (Mtoe) miljoonasta tonnista fossiilista öljyä saatavaa energiamäärää ($1 \text{ Mtoe} = 4.1868 \times 10^4 \text{ TJ}$). EU:n sisällä tapahtuvan biopolttoainetuotannon raaka-ainekasveina on tarkoitus käyttää kolme pääkasvia: Sokerijuurikasta ja eri viljoja bioetanolin valmistukseen ja rapsia biodieselin tuotantoon (kuvat 27, 28 & 29). Keskimääräinen satotaso näiden raaka-ainekasvien kohdalla vaihtelee suuresti EU:n alueella, johtuen esimerkiksi käytetystä lajikkeesta, maaperästä ja ilmasto-olosuhteista. EU-komissio on käyttänyt arvioissaan seuraavia keskiarvoja: sokerijuurikas 2,9 toe/ha, viljat 0,9 toe/ha ja rapsi 1,1 toe/ha. Keskiarvot eivät takaa täydellisen luotettavia tuloksia, mutta niiden käyttö on välttämätöntä, jotta tällainen vertailu voitaisiin toteuttaa riittävällä luotettavuudella.



Kuva 27. Oletettu sokerijuurikkaan tuotannon ja satotason muutos EU15 alueella (EFMA 2006).



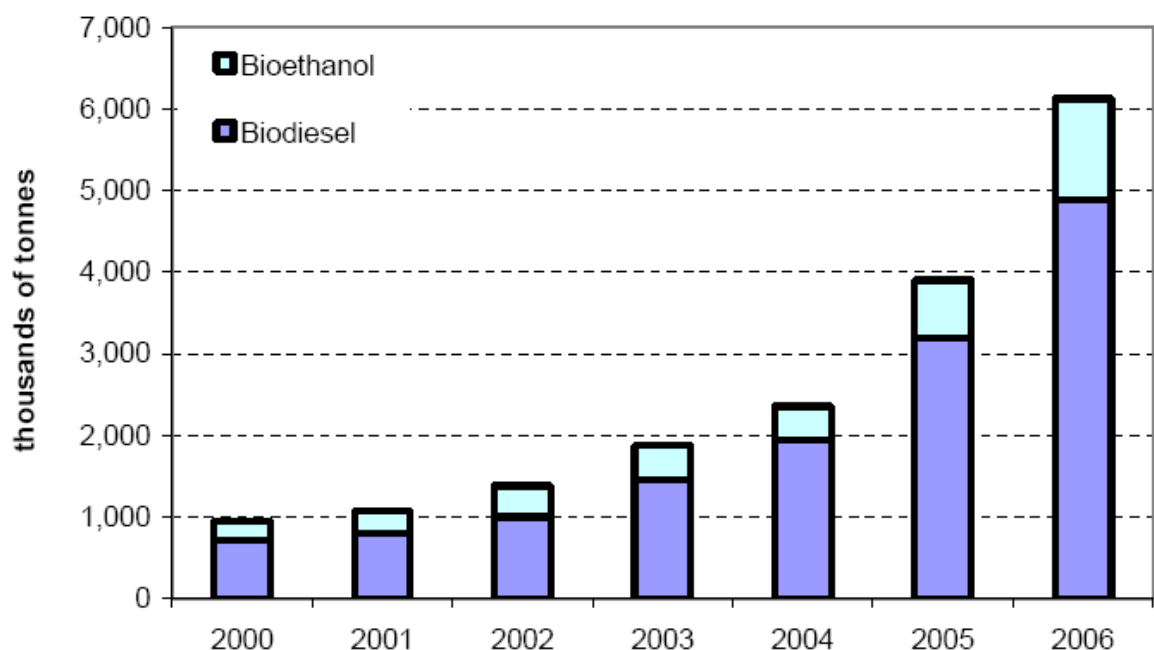
Kuva 28. Oletettu vehnän tuotantomäärän muutos EU15 alueella (EFMA 2006).



Kuva 29. Oletettu rapsin viljelyalan ja satotason muutos EU15 alueella (EFMA 2006).

Näiden ennakko-olettamuksien perusteella EU-komissio on arvioinut, että tarvittava viljelypinta-ala EU:n alueella olisi noin 17 miljoonaa hehtaaria, jotta direktiivin tavoitteisiin päästäisiin sisäisen tuotannon keinoin. Kun huomioidaan satotason kasvu eri raaka-ainekasvien osalla ja viljelyalojen siirto ravintokasvien tuotannosta energiakasvien viljelyyn, komissio näkee omavaraisuusvaihtoehdon teknisesti mahdollisena toteuttaa vaikka biopolttoaineiden tuotanto on EU:ssa ollut jyrkässä kasvussa jo vuosia (kuva 30). Käytännössä tätä teoriaa kuitenkin rajoittaa esimerkiksi rapsin kohdalla se, kuinka usein samalla peltoalalla voidaan viljellä samaa kasvilajia. Suurempina esteinä ovat EU:n sitoutuminen WTO:n maailmankaupparakenteeseen, joka estää EU:ta sulkemasta rajojaan totaalisesti ulkopuolelta tuotavilta biopolttoaineita tai niiden raaka-aineilta. Tällaiseen toimintaan ei ole edes sen enempää aikomuksia kuin käytännön mahdollisuuksiakaan. Täten täydellisen omavaraisuuden teoria on käytännössä mahdoton toteuttaa, vaikka

tekniset edellytykset ovatkin olemassa. Skenaario, jossa biopolttoaineiden ja raaka-aineiden tuonti pyrittäisiin minimoimaan, on sekin epätodennäköinen ja osin hyödytön, koska se aiheuttaisi sekä EU:n elintarvike- ja biopolttoainesektoreille ongelmia raaka-aineiden hinnan nousun takia. Uusi markkinatilanne, jossa jouduttaisiin toimimaan vain sisämarkkinoilta saatavilla raaka-aineilla, nostaisi erityisesti viljojen ja rapsin hintoja, jotka ovat nykyisin sidottuina maailmanmarkkinahintoihin. Lisäksi edellä mainittu omavaraisuuspolitiikka ei olisi millään lailla omiaan kannustamaan biopolttoaineiden tuotantoa muualla maailmassa, joka voisi toimia tuottajana juuri EU:n kaltaisille markkina-alueille ja synnyttää alueellisia hyötyjä esimerkiksi kehitysmaissa uusien tulonlähteiden muodossa. On myös huomioitava, että biopolttoaineiden käyttö ja käytön edistäminen nähdään keinona vähentää riippuvuutta fossiilisesta öljystä ja pienentää öljynhinnan kasvupaineita. Näin ollen on EU:n etu, että biopolttoaineisiin perustuva talous ja kehitys toimivat maailmanlaajuisesti ja sitä ei rajoiteta keinotekoisilla esteillä (EU-komissio 2006).



Kuva 30. Biopolttoaineiden tuotantokehitys EU:ssa 2000- 2006 (Doornbosch & Steenblik 2007).

Toinen skenaario, jonka EU-komission Biomass Action Plan nostaa esille on vaihtoehto ulkopuolisten biopolttoaineiden tai niiden raaka-ainekasvien tuonnin maksimointi. Komission ennusteen mukaan ulkopuolelta tuodut kasviöljyt voisivat parhaimmillaan saavuttaa noin 50 % EU:n biodiesel markkinoista, mikä biodieselin standardisointia

muokattaisiin siten, että esimerkiksi soija- ja palmuöljyn käyttö raaka-aineena helpottuisi. Tässäkin skenaariossa itse kasviöljyjen prosessointi biodieseliksi tapahtuisi kuitenkin pääasiassa EU:n sisällä. Poistamalla keinotekoiset tariffit bioetanolin kohdalla EU pystyisi tyydyttämään bioetanolin saantinsa kokonaan ulkopuolisten tuottajien taholta. Komission arvion mukaan EU:ssa kasvatettavista raaka-ainekasveista valmistettu bioetanol ei tässä tilanteessa pystyisi kilpailemaan hinnalla trooppisista maista tulevalle sokeriruohon tuotetulle bioetanolille. Seuraus olisi se, että 100 % EU:n bioetanolitarausta pystytettäisiin kattamaan ulkopuolisella tuonnilla ja EU:n sisäinen bioetanoliteollisuus häviäisi. Komission skenaario perustuu arvioon, jonka mukaan biopolttoaineiden kulutuksesta 56 % olisi biodieselia ja sitä kautta tuontibiopolttoaineen yhteisöosuus kaikista EU:n alueella kulutetusta biopolttoaineesta vakiintuisi noin 70 prosenttiin (EU-komissio 2006).

Biodieselin kannalta tässä skenaariossa olisi hyvinä puolina muun muassa se, että EU:n sisäiset tuottajat ja kehitysmaat hyötyisivät tasaisesti biodieselin kulutuksen kasvusta EU:ssa. Toisin kuin bioetanolin kohdalla, EU:n sisäinen biodieselteollisuus säilyisi elinvoimaisena. Suurimmat riskit tässä skenaariossa liittyvät EU:n ja muun maailmalajin kulutuksen kasvun kanssa saamaan aikaan kasvavaan kasviöljyjen, kuten soija- ja palmuöljyn, tuotantoon kehitysmaissa. Tämän kaltaisen kehityksen pelätään aiheuttavan viljelysaluilla luonnon habitaattien tuhoutumista ja kasvavaa metsän raivaamista raaka-ainekasviplantaasien tieltä. Jos arveltu kehityskulku pitää paikkansa, pienentää se merkittävästi biopolttoaineilla saatua hyötyä kasvihuonekaasupäästöjen vähenemisen osalta. Jos nämä epäilyt osoittautuvat todeksi, vähentävät ne biopolttoaineiden mediassa ja julkisessa keskustelussa saamaa positiivista vastaanottoa ja tätä kautta niiden käytön edistämiseen kannustaminen vaikeutuu merkittävästi. Edellä mainittujen seikkojen takia EU-komissio ei näe järkevänä biopolttoaineiden ja niiden raaka-aineiden tuontia suuressa mittakaavassa ilman, että ympäristövaikutuksia viljelyalueilla on riittävästi selvitetty (EU-komissio 2006).

Bioetanolin suhteen täysin tuonnin varaan jättäytyminen nähdään, komission raportin mukaan, ei toivottuna ratkaisuna EU:lle, vaikka se käytännössä olisikin mahdollista toteuttaa. Jos EU hankkii tavoitteidensa saavuttamiseen tarvittavan bioetanolimäärän tuontina kolmansilta alueilta, eikä edes osin oman tuotannon kautta, on hinta arvion mukaan noin 25 % alhaisempi ja saavutetaan positiivista kehitystä kasvihuonekaasupäästöjen kohdalla. Tässä skenaariossa Eurooppa ja varsinkin

maaseutualueet EU:lle jäävät vaille bioetanolin raaka-ainekasvien kasvatuksesta saatavia hyötyjä, kuten työllisyysvaikutukset ja uudet sekä laajemmat tulonhankintamahdollisuudet viljelijöille. Tuonnin varaan jättäytyminen tarkoittaisi bioetanolin kohdalla sitä, että EU jäisi ilman vakautta, joka olisi saavutettavissa, mikäli bioetanolin tuotanto muodostaisi uuden sisäisen energiavarannon. Komissio huomioi myös sen, että mikäli bioetanolin tuotannon edistäminen laiminlyödään jäsenmaissa, on todennäköistä, että suurin osa niistä keskittää voimavarat biodieselin tuotantoon saavuttaakseen biopolttoainedirektiivin vaatimat tavoitteet. Tämä aiheuttaisi tilanteen, jossa kolmansien maiden tuottama bioetanol ei enää löytäisi samalla tavoin ostajia EU:n keskittyessä biodieseliin, jonka raaka-ainekasvien viljely on sen alueella kannattavampaa. Negatiivisia ympäristövaikutuksia tuotantoalueilla komissio ei näe, niin vakavina kuin biodieselin raaka-ainekasvien viljelyn tapauksessa, koska tuontibioetanolin pääraaka-ainekasvin eli sokeriruohon kasvatusta tapahtuu enimmäkseen alueilla, jotka ovat olleet jo ennestään viljelykäytössä.

Biomass Action Plan – raportissaan EU-komissio päätyy tulokseen, että edellä mainittujen omatuotanto- ja tuontipainotteisen skenaarioiden välimuoto olisi paras vaihtoehto EU:lle, kun pyritään minimoimaan biopolttoaineisiin siirtymisen haittoja ja maksimoimaan hyötyjä. Tämä "kultainen keskitie" perustuu useampaan strategiseen linjaukseen. Ensinnäkin komissio näkee tärkeänä EN14214-standardin muokkaamisen siten, että se mahdollistaa eri kasviöljyjen laajemman käytön biodieselin valmistuksessa heikentämättä kuitenkaan merkittävästi polttonesteen haluttuja ominaisuuksia. Lisäksi EU:n ulkopuolella tuotetulle bioetanolille halutaan säilyttää vähintään nykyisten kauppasopimusten takaama markkinatilanne ja edistää tulevaisuudessa kauppaneuvotteluissa lähtökohtia, jotka takaavat tasapainoisen kehityksen sekä EU:lle, että tuottajamaille. Komission mukaan tulisi myös biopolttoainedirektiiviä muuttaa siihen suuntaan, että vain biopolttoaineet, joiden raaka-ainekasvien viljely täyttää säädetyt ympäristövaatimukset, hyväksytään käytettäväksi EU:ssa. Kehitysmaiden tukemisessa yleisesti biopolttoaineiden ja raaka-ainekasvien tuotannossa nähdään myös EU:n kannalta positiivisia vaikutuksia aikaansaavana toimintana. Komissio näkee myös sertifiointijärjestelmän luomisen biopolttoaineille ajankohtaisena ja tärkeänä. Järjestelmän pitää olla johdonmukainen kotimarkkinoilla tuotetuille ja tuontibiopolttoaineille ja raaka-aineille, eikä se saa olla ristiriidassa nykyisten WTO:n säädösten kanssa.

Näiden toimien perusteella EU-komissio uskoo, että raaka-aine- ja elintarvikekasvien hinnannousu saadaan pidettyä halutuissa rajoissa, riittävä osuus biodieselin raaka-ainekasveista pystytään tuottamaan EU:n sisällä ja suurin osa biodieselin ja bioetanolin jalostuksesta tapahtuu EU:n sisällä (taulukko 5). Edellä mainittujen toimien toivotaan myös auttavan vähiten kehittyneitä maita pääsemään osallisiksi EU: biopolttoainemarkkinoista. Edellä kuvatun kaltainen lähestymistapa merkitsisi myös sitä, että biopolttoaineiden käytön lisääminen ei tapahtuisi metsän hakkuiden ja luonnon ympäristöjen kustannuksella (EU-komissio 2006).

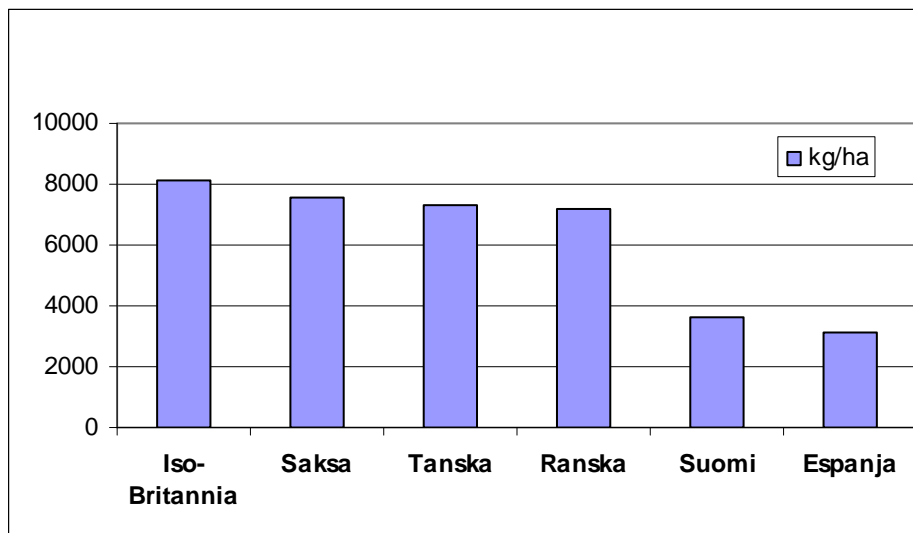
Taulukko 5. Toimivat ja suunnitellut biopolttoaineiden tuotantolaitokset EU:ssa (Doornbosch & Steenblik 2007).

	Plants in operation 2007	Estimated production capacity 2007 (tonnes)	Plants planned or under construction	Additional production capacity (tonnes)
Total EU-27	115	8,377,000	115	16,608,000
EU-15				
Austria	10	166,000	3	400,000
Belgium	5	590,000	2	200,000
Denmark	1	41,000	1	48,000
Finland	1	170,000	1	n.a.
France	5	980,000	15	2,320,000
Germany	30	2,581,000	9	1,613,000
Greece	5	620,000	1	39,000
Ireland	1	44,000	2	230,000
Italy	10	1,380,000	6	610,000
Luxembourg				
Portugal	7	200,000	5	410,000
Spain	11	297,000	27	4,945,000
Sweden	2	80,000	1	160,000
The Netherlands			5	1,316,000
United Kingdom	4	522,000	4	1,100,000
Subtotal EU-15	92	7,671,000	82	13,391,000

6.2 Case study: Bioetanolin tuotanto vehnästä Tanskassa

Tanskaa koskeva case study perustuu vuodelta 2006 olevaan kolmen tanskalaisen tutkijan, Bentsen, Felby, Hvid Ipsen, selvitykseen toisen sukupolven bioetanolin tuotannosta vehnästä Tanskan olosuhteissa (Energy balance of second generation bioethanol production on Denmark, Bentsen et al. 2006). Tanska valittiin yhdeksi case study-kohteeksi muun muassa vehnän satotasonsa sekä muiden viljelyolosuhteiden takia (kuva

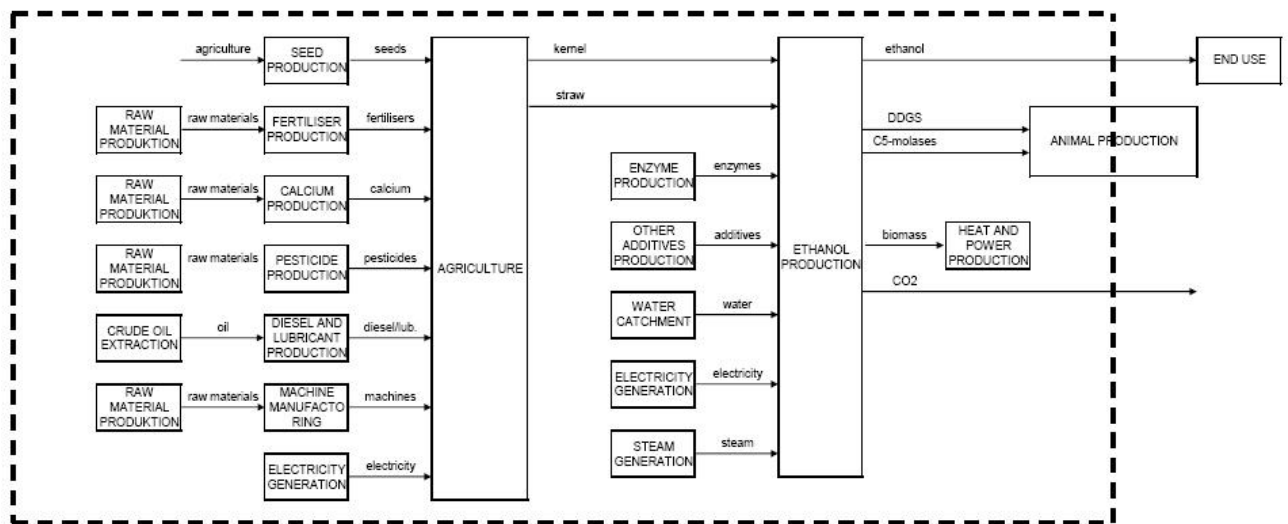
31) Tutkimus pitää olettamuksena, että koko kasvi käytetään sokereiden tuotantoon, jotka fermentoidaan etanoliksi, ja että etanolin tuotanto on yhteydessä sähkö- ja lämpövoimaloihin. Tutkimus toteaa, että bioetanolin ympäristölle positiiviset vaikutukset ovat riippuvaisia koko tuotantoketjun energiatehokkuudesta, johon kuuluvat kaikki prosessin osat alkutuotannosta lopputuotteen jalostukseen.



Kuva 31. Vehnän keskimääräisiä satotasoja valituissa EU-maissa 2006/2007 (EFMA 2006).

Tutkimuksen hypoteesina on, että korkeampi energiatehokkuus on saavutettavissa koko kasvin biomassan hyödyntämisen lisäksi sijoittamalla bioetanolin jalostamo voimalaitoksen yhteyteen, jolloin voimalaitoksen tuottamaa höyryä voidaan käyttää hyödyksi etanolin valmistusprosessissa. Tutkimuksen piiriin kuuluviin prosesseihin kuuluu etanolin perinteinen, vain siemenet hyödyntävä valmistusprosessi yhdistettynä toisen sukupolven IBUS- prosessiin (Integrated Biomass Utilisation System), jossa myös koko kasvi voidaan hyödyntää etanolin tuotannossa (kuva 32). Tutkimuksen lähdeaineisto on kerätty kirjallisuudesta, maataloustuotantoon erikoistuneilta tutkimuslaitoksilta ja Statistics Denmark tilastokeskukselta. Aineistoa ja numerodataa on myös saatu IBUS – prosessiin erikoistuneen etanolin tuotantotehtaan pilottiprojekteista ja varsinaisen tuotannon suorittamisesta. LCA- metodologian mukaista ajattelua energian ja materiaalin kulutusvirtojen jäljittämisestä on pyritty viemään mahdollisimman pitkälle tuotantoketjussa. Tanskan oloissa tapahtuvan viljaetanolin tuotannon kokonaisenergiapanoksen selvittämiseksi on huomioitu sekä suora energiankulutus

dieselpolttoaineena pelloilla, että epäsuora energiapanostus viljelyssä käytettyjen lannoitteiden ja etanolin tuotannossa käytettyjen kemikaalien osalta. Tutkimuksen perimmäinen tarkoitus on selvittää onko energiataloudellisesti kannattavaa käyttää yhden hehtaarin tuottama vehnäsato Tanskan olosuhteissa liikennekäyttöön tarkoitetun bioetanolin tuottamiseen.



Kuva 32. Tutkimuksessa käytetyn IBUS- prosessin kulku (Bentsen et al. 2006).

Bioetanolin tuotannon energiavirtoja simuloidessaan tutkijat ovat kiinnittäneet huomiota siihen, että todellisuudessa prosessin toteuttaminen on riippuvainen muun muassa kyseessä olevan laitoksen kapasiteetista, käytettävästä teknologiasta, sijainnista, koosta ja muista muuttujista. Tutkimus pyrkii ottamaan näiden muuttujien vaihtelun huomioon ja käyttää laskuissaan mieluummin tietyn parametrin vaihteluväliä kuin absoluuttista lukuarvoa. Tutkimuksen lähtöolettamuksena on tilanne, jossa vehnä tuotetaan Tanskan olosuhteissa normaaleilla viljelymetodeilla käyttäen kaupallisia lannoitteita ja torjunta-aineita Tanskassa tapahtuvalle maanviljelylle asetettujen säädösten mukaisesti. Käytettyä viljelydataa pidetään validina kymmenen vuoden aikahaarukalla tutkimuksen suorittamisesta (2005). Hehtaarin alalta saadusta sadosta hyödynnetään koko kasvi sokerin lähteenä bioetanolin tuotantolaitoksessa. Prosessissa saadut sivutuotteet DDGS (dried distillers grains with solubles) ja C5-melassi käytetään mm. nautojen ja sikojen rehuksi. Jäljelle jäänyt biomassa poltetaan energian tuotantolaitoksessa. Sivutuotteista hiilidioksidia ja sen hyödyntämistä ei ole huomioitu tässä tutkimuksessa.

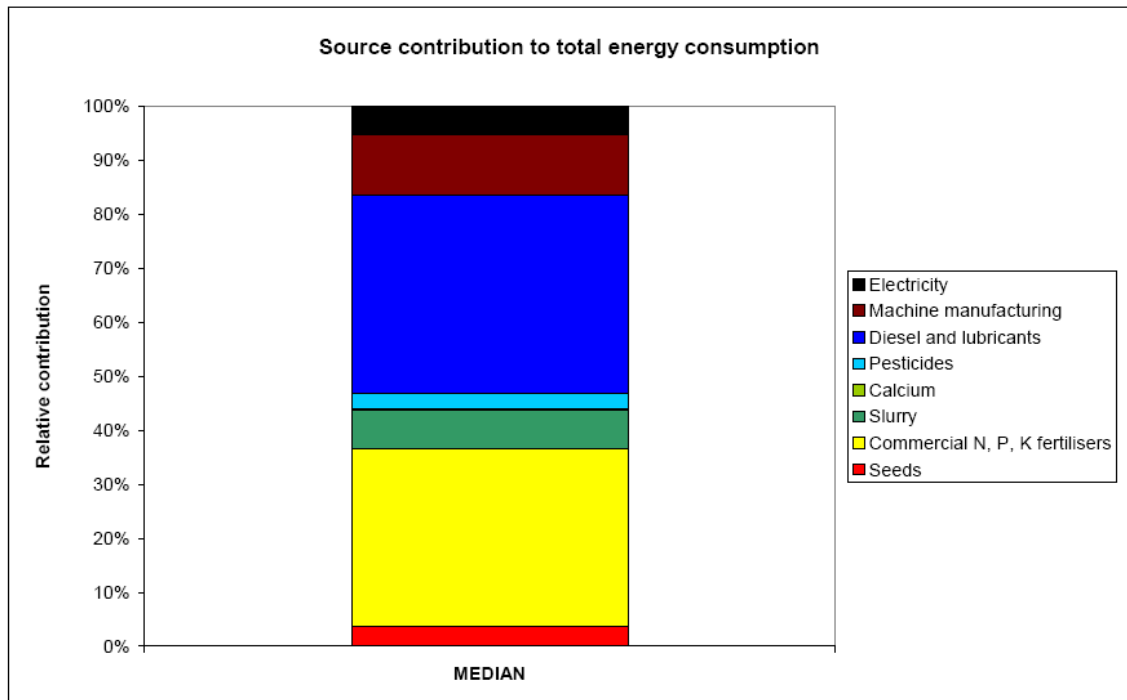
6.2.1 Energiapanostus ja sen jakautuminen

Tutkimusalueena olleelle yhden hehtaarin vehnäpellolle tulevat energiapanostukset jakautuvat useaan eri ryhmään. Viljelyn lähtökohta ovat siemenet, joita tutkimus olettaa käytettävän 350 kappaletta neliömetrille. Tällä määrällä koko hehtaarin alueelle käytetään 136 - 221 kiloa vehnän siementä referenssinä toimineen Danish Agricultural Advisory Service mukaan. Toinen merkittävä energiapanostus tulee viljelyssä yleisimmin käytetyistä lannoitteista eli typestä, fosforista ja kaliumista. Käytettävät määrät vaihtelevat maaperän, viljelykasvin ja edellisen viljelykasvin perusteella. Tutkimus käyttää olettamuksena, että lannoituksesta tuleva energiapanostus koostuu kaupallisista valmisteista ja lietelannasta tulevasta panostuksesta. Absoluuttiset määrät, joita tutkimus käyttää ovat typen kohdalla 169 - 179 kg N/ha, fosforin 20 kg P/ha ja kaliumin 70 kg K/ha. Lietelantaa levitetään tutkimuksen olettamuksien mukaan 17732 – 37091 kg/ha. Lannoituksen energiapanoksen jakautuminen kaupallisten valmisteiden ja lietelannan välillä on typellä noin 43 - 49 % / 51 - 57 %, fosforilla noin 25 - 35 % / 65 - 75 % ja kaliumilla noin 30 – 35 % / 65 - 70 % kaupalliset lannoitevalmisteet ensin mainittuna. Tutkimus ottaa huomioon myös lietelannan käsittelyssä, kuljetuksessa ja levityksessä käytetyn dieselpolttoaineen energiapanoksen ja käyttää lukuarvona 0,15 - 1,5 litraa kulutettua dieselpolttoainetta jokaista levitettyä lietelantatonnia kohti. Myös koneiden käyttämät voiteluaineet otetaan huomioon. Maaperän tarvitseman kalkin määrä vaihtelee suuresti käytettävän lajikkeen ja maaperän perusteella, ja siksi tutkimus käyttää oletuslukuarvona 0 – 1000 kg/ha. Tutkimus ottaa energiapanostusta laskettaessa huomioon rikkakasvien, tuhohyönteisten ja kasvitautilien torjunnassa käytetyt torjunta-aineet, joiden käyttömäärät ovat saatu huomioimalla myyntimäärät Danmarks Statistik:n mukaan. Torjunta-aineiden levityksen oletuslukuarvona 1,34- 1,42 kg/ha. Viljelyssä käytettäville koneille ja laitteille tutkimus laskee dieselpolttoaineen kulutukseksi 90 – 132 l/ha ja ottaa huomioon energiapanostuksessa myös voiteluaineiden tarpeen. Tutkimus huomioi myös, että viljelyssä käytettävien työvälineiden, kuten esimerkiksi traktorien, puimurien ja aurojen valmistus on vaatinut energiaa, samoin kuin niiden raaka-ainemetallien valmistus malmista. Negatiivisen energiapanostuksen määrää vähentää tutkimuksen olettamus, että käytöstä poistuneet työvälineet antavat positiivisen energiapanoksen, kun niiden metallit käytetään uudestaan. Tätä olettamusta ei ota huomioon esimerkiksi Yhdysvalloissa maissille tehty LCA- tutkimus (Patzek 2006). Tanskalaistutkimus laskee viljelyn vaatimiin energiapanoksiin myös sen eri vaiheissa muun muassa lämpöön, valoon ja ilmanvaihtoon

kulutetun sähkön energiapanostuksen. Käytetyn energian lukuarvona he käyttävät 654 – 866 MJ/ha (Bentsen et al. 2006).

Yhden hehtaarin vehnä sadon viljelemiseen Tanskan olosuhteissa käytetty energiamäärä on huomioimalla edellä mainitut tekijät laskettu käyttämällä niille arvioituja lukuarvoja sekä niiden vaihteluvälejä. Tutkijat ovat käyttäneet niin sanottua Monte Carlo –metodia ja SAS-ohjelmistoa 10000 iteraatiolla. Gaussin käyrän mukaisesti jakautunut kuva 42 osoittaa, että minimiarvo energian kulutukselle hehtaaria kohti oli 10275 MJ/ha ja maksimi 18776 MJ/ha. Mediaani oli 14560 MJ/ha ja 50 % saaduista tuloksista sijoittui vaihteluvälille 13673 – 15458 MJ/ha (kuva 33).

Vehnän viljelyn energiapanostukset koostuvat useasta eri tekijästä joiden painoarvot eivät ole yhtä suuria. Kuvasta 43 selviää eri osa-alueiden merkittävyys kokonaisenergiapanostuksesta. Joukosta nousevat erilleen 33 % energiapanostuksesta vaativat kaupalliset lannoitevalmisteet sekä 37 % vaativa dieselpolttoaine sekä voiteluaineet. Typpi muodostaa suurimman energiaosuuden kaupallisista lannoitteista.

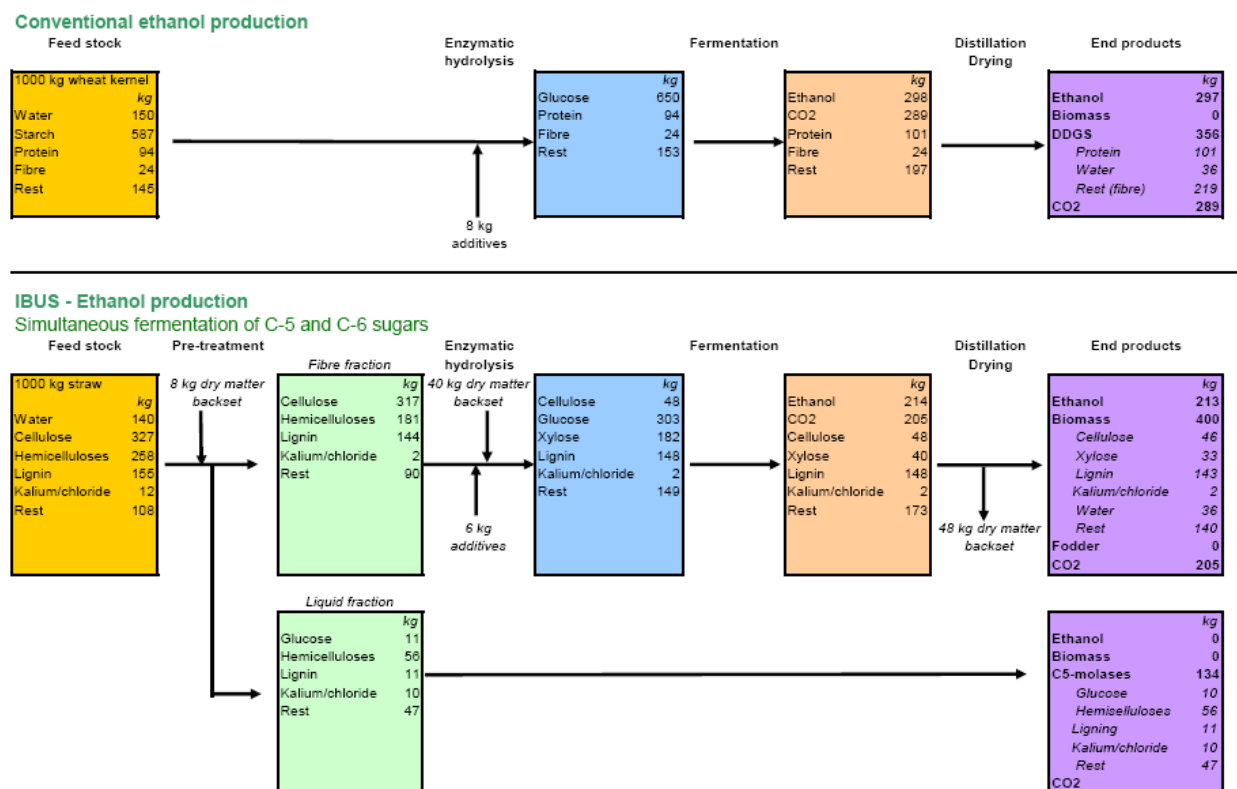


Kuva 33. Yhden hehtaarin vehnän viljelyn suhteellinen energian kulutus jaoteltuna (Bentsen et al. 2006).

Yhden hehtaarin alalta saatavan vehnän siemensadon tanskalaistutkimus laskee vuosilta 1990 – 2003 olevien tilastojen perusteelta. Keskisadoksi hehtaarilta tutkimus olettaa 7057 kilogrammaa, joka on linjassa EFMA: n lukujen eli noin 7100 kg/ha kanssa (EFMA 2006). Kosteusprosentiksi tutkimus arvioi noin 15 %, jolloin vehnän siemensadon kuivapainoksi hehtaarille tulee 5998 kilogrammaa. Hehtaarin viljelyalalta saatavaksi olkimääräksi tutkimus ilmoittaa 4183 kilogrammaa ja kosteusprosentiksi 14 %.

6.2.2 Tuotantoprosessi

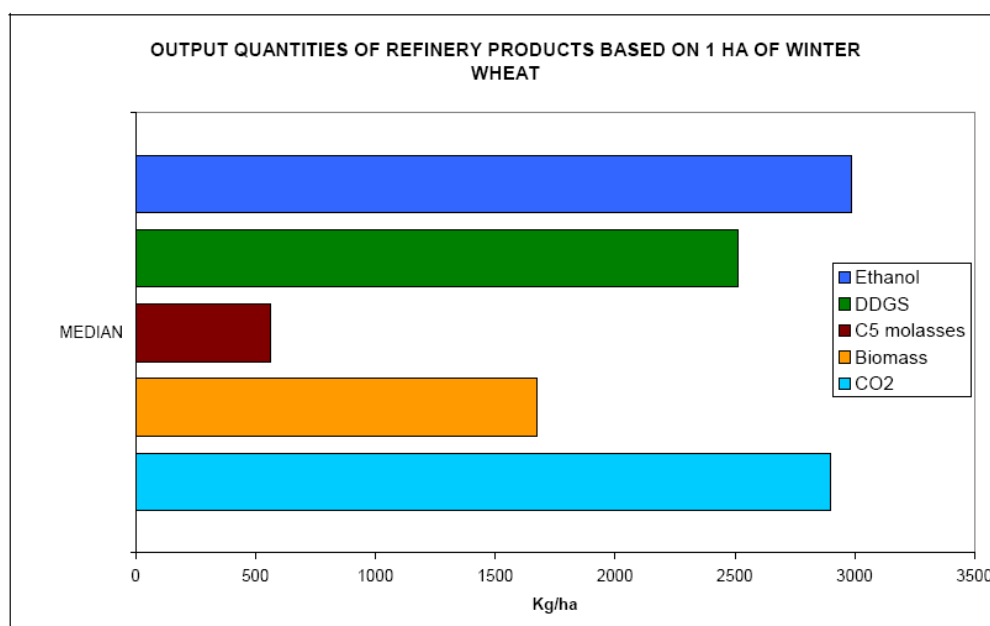
Kuva 34 selvittää seikkaperäisesti siementen ja oljen prosessoinnin, joka kattaa nesteytyksen, entsyymihydrolyysin, fermentaation, tislauksen ja kuivauksen, bioetanoliksi absoluuttisilla luvuilla. Prosessin tuloksena saadaan puhdasta etanolia, DDGS: ä, C5-melassia, biomassaa sekä hiilidioksidia. Saadut ainemäärät perustuvat tanskalaisen Elsam A/S energiayhtiön yhdessä eri yliopistojen, tutkimuslaitosten ja muiden yhtiöiden kanssa tekemään IBUS – projektiin (Elsam 2005).



Kuva 34. Bioetanolin prosessikaavio ja absoluuttiset ainemäärät (Bentsen et al. 2006).

Etanolin tuotanto jyvistä tapahtuu perinteisellä teknologialla, mutta oljen sisältämien C-5 ja C-6 sokerien hyödyntäminen kaupallisessa etanolin tuotannossa on vielä 2-5 vuoden

päässä tulevaisuudessa (tutkimus vuodelta 2005). Kokonaisuudessaan yksi hehtaari vehnää tuottaa keskimäärin 2987 kilogrammaa puhdasta etanolia. Suhteutettuna etanolin lämpöarvoon 26,7 MJ/kg (Oak Ridge National Laboratory 2007) saadaan bensiinipolttoaineeksi suhteutetuksi energiamääräksi hehtaarilta 79761 MJ. Hehtaarilta vehnää saadaan noin 2259 kilogrammaa rehuna käytettävää DDGS: tä. 13,4 % prosessoidusta oljesta saadaan talteen C5-melassina eli absoluuttinen määrä on 561 kg/ha. Melassi sisältää paljon orgaanisia happoja ja soveltuu hyvin käytettäväksi rehuna. Prosessissa vapautuvaa biomassaa, josta ei pystytä valmistamaan etanolia tai rehua saadaan hehtaarilta noin 1674 kilogrammaa, josta noin 10 % on kosteutta ja jonka lämpöarvo on noin 17,5 MJ/kg (kuva 35). Lähtöolettamuksissa mainittiin, että etanolijalostamo on sijoitettu lämpövoimalan yhteyteen, jolloin ylijäänyt ja muutoin hukkaan menevä biomassa voidaan käyttää polttoaineena laitoksen sisällä, mikä lisää energiatehokkuutta suuresti. Etanolin tuotannon merkittävä sivutuote on hiilidioksidi, jota yhden hehtaarin alueelta vapautuu noin 2897 kilogrammaa. Prosessissa talteen otettua hiilidioksidia voidaan käyttää esimerkiksi virvoitusjuoma- ja kemianteollisuudessa. Mikäli hiilidioksidia ei oteta talteen vaan se päästetään takaisin ilmakehään, ei sen itsessään katsota lisäävän hiilidioksidipäästöjä sen alkuperästä johtuen. Tanskalaistutkimuksessa hiilidioksidi on jätetty pois laskelmista ja sen vaikutukset energiaketjuun sekä ympäristöön yleensäkin nähdään tärkeänä jatkotutkimusten kohteena.



Kuva 35. Yhdestä hehtaarista vehnää prosessoitujen tuotteiden absoluuttiset määrät (Bentsen et al. 2006).

Tuotantoprosessissa vaadittavasta energiasta suuri osa koostuu eri osioissa tarvittavasta sähköstä sekä höyrystä. Saadut tulokset tutkimus referoi Elsam IBUS – pilottiprojektissa saaduista tuloksista. Siementen osuuden prosessointi vaatii noin 3,6 GJ höyryä ja 100 kWh sähköä per tonni 15 % kosteusprosentilla. Oljen kohdalla kulutus on suurempi eli noin 3,8 GJ höyryä ja 220 kWh sähköä per tonni 14 % kosteusprosentilla. Tarvittava sähköenergia alkuperän suhteen tutkimus käyttää olettamuksena Danish Energy Authority:n keskiarvolukuja vuodelta 2004, jonka mukaan sähköenergian tuotannosta 25 % tulee uusiutuvista energian lähteistä ja 75 % uusiutumattomista. Sähkön tuotantoon kuluva energia on laskettu Elsam vuodelta 2000 olevan LCA- tutkimuksen perusteella (Elsam et al. 2000) ja siinä on huomioitu energian alkuperän lisäksi muun muassa verkkosiirrossa tapahtuva energiahäviö.

Höyryn tuotannossa tutkimus sivuaa kahta eri skenaariota. Ensimmäisenä lähtöolettamuksena on, että sopivan paineista ja lämpöistä ylijäämähöyryä on tarjolla alhaiseen hintaan. Tämä tarkoittaa käytännössä, kuten edellä on mainittu, että bioetanolin tuotanto tapahtuu voimalaitoksen yhteydessä. Näin ylijäämähöyryn hyöty käyttö on mahdollista alhaisin kustannuksin. Nykyisinkin Tanskassa käytetään tätä höyryn ylijäämää talvella asuntojen lämmitykseen, mutta varsinkin kesällä on varaa käytön tuntuvaan kasvuun. Edellä mainitun kaltainen järjestely tarkoittaisi sitä, että yksi megajoule höyryenergiaa voitaisiin saavuttaa noin 0,65 – 0,90 MJ ulkoisella energiapanostuksella. Toisessa, niin sanotussa greenfield- skenaariossa bioetanolin tuotantolaitosta ei ole mahdollista sijoittaa ylijäämähöyryä tuottavan voimalan lähelle, vaan erillinen höyryn tuotantolaitos on rakennettava jalostamon lähelle erikseen. Tässä tapauksessa yksi megajoule höyryenergiaa voitaisiin saavuttaa noin 1,34 MJ ulkoisella energiapanostuksella. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että jalostamon ja voimalan sijoittaminen yhteen mahdollistaa 50 – 65 % energian säästön etanolin tuotannossa välttämättömän höyryn tuotannossa. Edellä mainittu yhteissijoittaminen voi olla haasteellista joissain rakennustapauksissa ja edellä mainittuihin säästömahdollisuuksiin pitää suhtautua tämä mielessä pitäen. Etanolin tuotanto vaatii myös eri määriä useita kemikaaleja, entsyymejä ja yhdisteitä, kuten esimerkiksi A-amylaasia, AMG: tä, ureaa, kalsiumkloridia, natriumhydroksidia ja rikkihappoa. Näiden yhdisteiden tarvitsema energiapanostus on 369 – 508 MJ tuotettua etanolitonnia kohti. Myös itse jalostamon rakentamisen vaatimat energiasatsaukset on laskettu osaksi tutkimusta. Pienen mittakaavan jalostamon rakennuskustannukset energiassa ovat noin 332 MJ tuotettua etanolitonnia

kohti ja suuremman mittakaavan laitoksen 67 MJ etanolitonnia kohti. Vertailun vuoksi esim. vastaavat rakennuskustannukset energiassa ovat Yhdysvalloissa maissibioetanolin kohdalla korkeammat eli 96 MJ/t EtOH (Patzek 2006). Suurempi tuotantopotentiaali on siis myös energiataloudellisesti kannattavampi ratkaisu.

Bentsenin et al. tutkimus ottaa kantaa myös raaka-aineiden, bioetanolin ja sivutuotteiden maantiekuljetusten aiheuttamaan energiapanostukseen. Tutkimuksen tekohetkellä vuonna 2006 Tanskassa ei ollut vielä yhtään toimivaa bioetanolijalostamo, joten todelliseen dataan perustuvia laskelmia energian kulutuksesta ei voida tehdä. Tutkimuksen olettaus on, että Tanskassa tarvitaan kolme bioetanolijalostamoä täyttämään EU:n biopolttoainedirektiivin 2003/30/EC vaatimat tavoitteet. Olettaus on, että Tanskassa nämä kolme tuotantolaitosta sijoitetaan jo olemassa olevien voimaloiden yhteyteen. Ongelmia näiden sijoituspaikkojen vapaassa valinnassa aiheuttaa muun muassa se, että Tanskan viljan tuotanto on keskittynyt vain tietyille alueille. Bioetanolin jatkojalostus ja sekoitus fossiilisiin polttonesteisiin oletetaan tapahtuvan jo olemassa olevilla öljynjalostamoilla. Lisää hankaluuksia aiheuttaa se, että sivutuotteena saatua DDGS- rehua käyttäviä sikoja ja nautoja ei kasvateta vehnäntuotantoalueilla. Liikenneskenaariot perustuvat kaikki olettamuksiin maantiekuljetuksista ja siitä, että kaikki raaka-aineet ja lopputuotteet tuotetaan ja käytetään Tanskassa, vaikka kysymys on globaaleista hyödykkeistä joita tullaan todennäköisesti tulevaisuudessakin kuljettamaan pitkien matkojen päästä. Tämän hankaluuden laskelmien tekemisen kohdalla tutkimus toteaa itsekin ja muistuttaa, että siinä käytetyt skenaariot kuljetusten järjestämisestä ja energiavirroista ovat vain todennäköisiä olettamuksia ja voivat hyvin muuttua.

6.2.3 Energian tuotto/kulutussuhde

Kokonaisenergiapanostuksen kaava:

$$EC_{\text{sisään}} = EC_{\text{maatalous}} + EC_{\text{kuljetus}} + EC_{\text{höyry}} + EC_{\text{sähkö}} + EC_{\text{lisäaineet}} + EC_{\text{rakentaminen}}$$

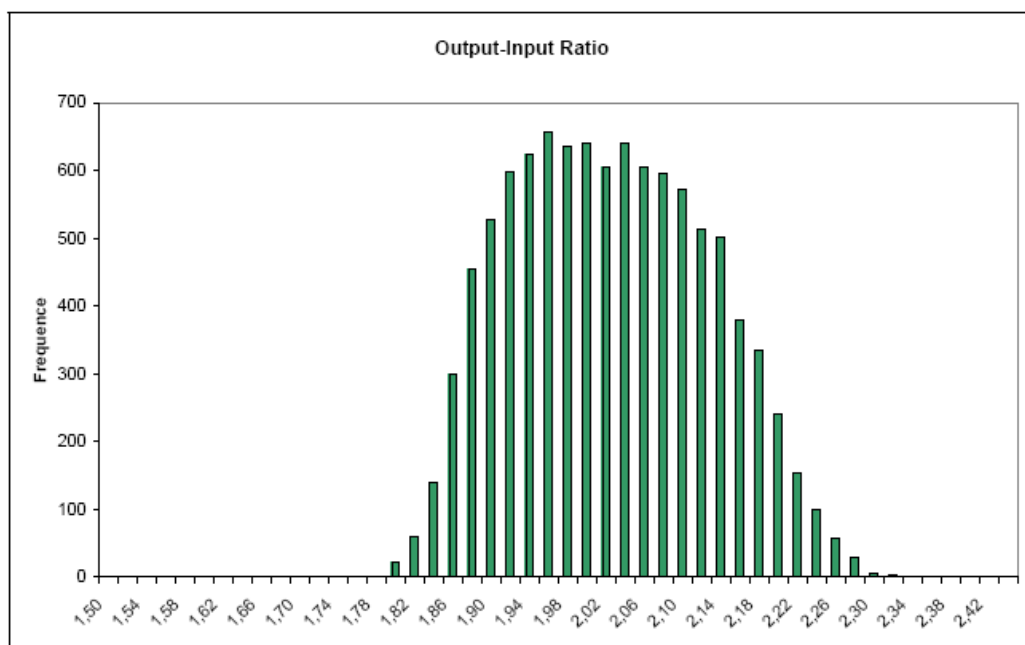
Kokonaisenergiasaannin kaava:

$$EC_{\text{ulos}} = EC_{\text{EtOH}} + EC_{\text{biomassa}} + EC_{\text{DDGS}} + EC_{\text{melassi}}$$

Kokonaisenergiataseen arviointi tapahtui Monte Carlo- menetelmällä ja 10000 iteraatiolla.

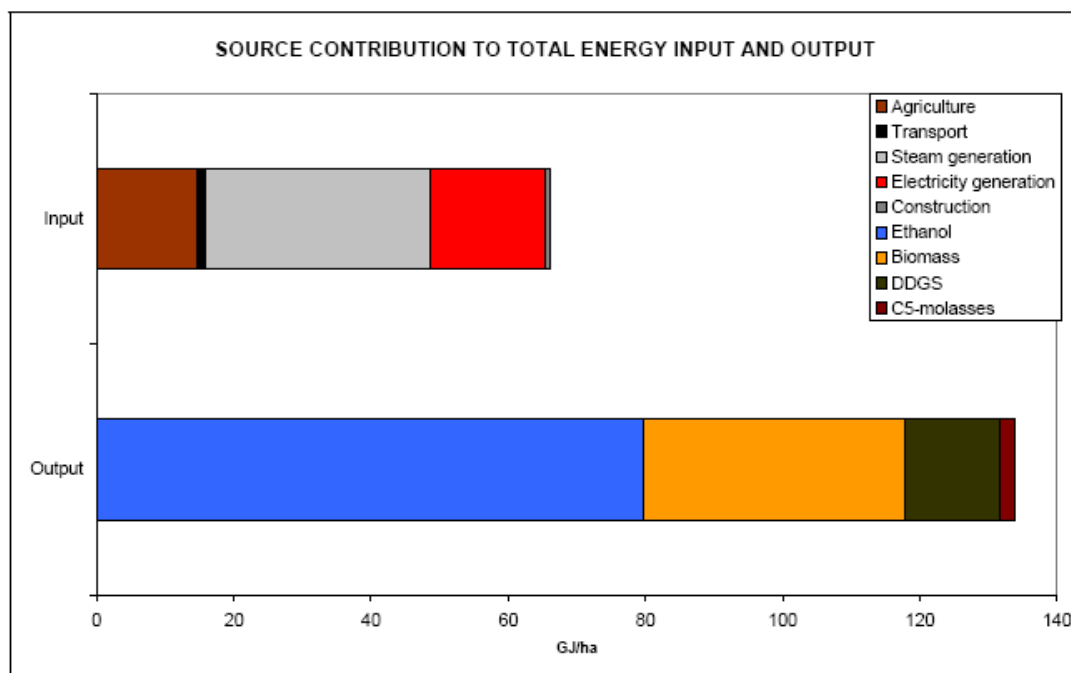
Energiapanostuksen mediaani on simuloidussa tuloksessa 65927 MJ/ha ja 50 % tuloksista sijoittuu välille 63230 - 68732 MJ/ha. Energiansaannissa mediaani puolestaan on 133962 MJ/ha ja 50 % tuloksista sijoittuu välille 130791 – 137201 MJ/ha. Edellä mainituista tuloksista lasketaan niin sanottu energian panostus-kulutussuhde.

Energiasuhteen mediaani on 2,03, joka tarkoittaa, että energiaketjusta saadaan 2,03 kertaa siihen sijoitettu energiapanostus. Tämä ei tarkoita sitä, että energiaa syntyy tyhjästä. Energiapanostuksiin ei ole laskettu mukaan auringon säteilyä, joka on selvästi suurempi, kuin energiapanostuksen ja saannin erotus. 50 % tuloksista sijoittuu välille 1.95 – 2.11, joka merkitsee, että todellinen suhde on lähellä arvoa 2. Tämä arvo koostuu prosessin monien vaiheiden yhteenlasketuista vaikutuksista (kuva 36).



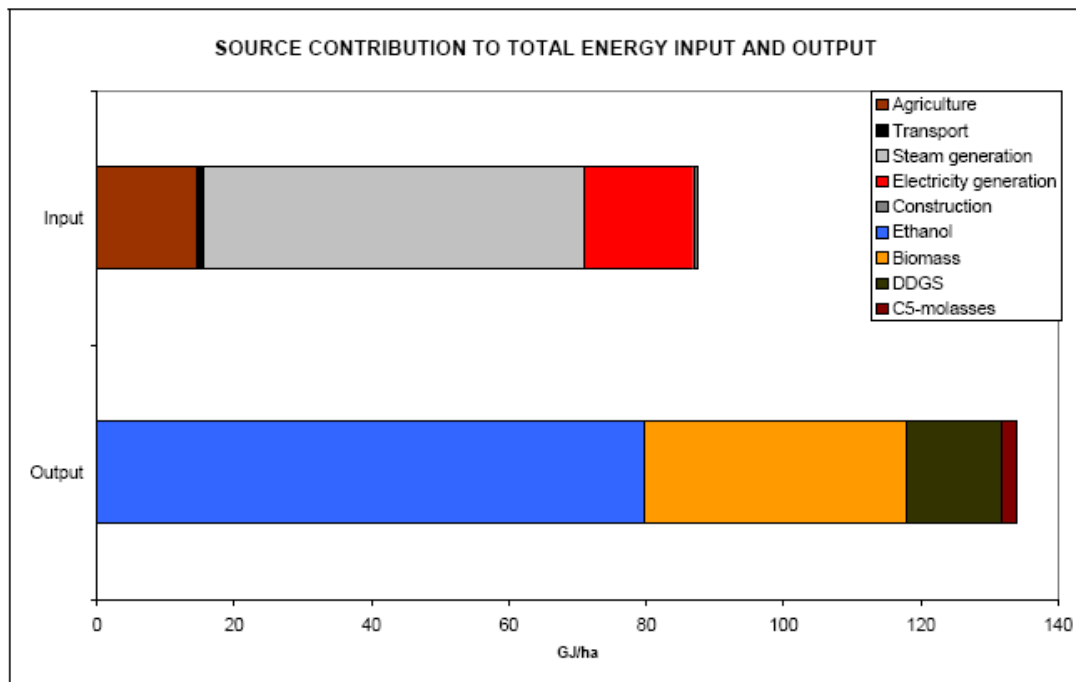
Kuva 36. Energiasuhdeluku bioetanolin jalostuksessa IBUS- prosessilla (Bentsen et al. 2006).

Suurimmat energiapanostukset vaatii jalostusprosessi (sähkön- ja höyryntuotanto) eli noin 76 % käytetystä energiasta. Energiansaantipuolella suurimmat hyödyt saadaan etanolista ja biomassasta, 88 % ja loput 12 % rehusta (kuva 37).



Kuva 37. Energiataseen suhteellinen jakautuminen (Bentsen et al. 2006).

Edellä mainitut luvut ja kuvaajat kuvaavat skenaariota, jossa bioetanolijalostamot ovat höyryn- ja sähköntuotantolaitosten yhteydessä. Tekstissä mainittu niin sanottu greenfield – skenaario, jossa erillinen höyryntuotantolaitos rakennetaan erikseen bioetanolijalostamon yhteyteen. Tämä mahdollistaa jalostamoiden sijoittamisen lähemmäksi raaka-ainekasvin, tässä tapauksessa vehnän, viljelyalueita. Näin ollen liikenteen aiheuttamaa energiankulutusta voitaisiin vähentää merkittävästi. Energiatase ei kuitenkaan parane tästä sillä liikenteestä saadut hyödyt ovat huomattavasti pienemmät kuin erillisen höyryntuotannon aiheuttamat energiakustannukset (kuva 38). Tästä syystä energiasuhteen mediaanin arvo on vain 1,53, kun se alkuperäisessä olettamuksessa oli 2,03. Tuloksista 50 % sijoittuu välille 1.51 – 1.54 osoittaen tämän skenaarion heikomman energiataloudellisen kannattavuuden.



Kuva 38. Energiataseen suhteellinen jakautuminen greenfield- skenaariossa (Bentsen et al. 2006).

Tutkimus huomioi, että useat sen käyttämät olettamukset ovat ainakin osin varsin konservatiivisia ja voivat muuttua. Tällainen on esimerkiksi vehnän saatavuus, joka on oletettu tutkimuksessa rajoittamattomaksi. Tämä ei tietenkään pidä paikkaansa, mutta edellä esitetyissä skenaarioissa tarvittava vehnä määrä on kuitenkin mahdollista tuottaa siirtämällä viljelyresursseja muilta maatalouden osa-alueilta. Myös oljen saatavuus saattaa muodostua ongelmalliseksi, koska sitä käytetään Tanskassa kuivikkeen ja rehun lisäksi energian tuotantoon jo nyt merkittäviä määriä. Myöskään skenaariossa oletetun viljelykulttuurin vaikutukset muun muassa eroosion magnitudiin ja humuksen määrään eivät ole yksiselitteisiä. Kysymys pitäisikö oljet jättää pellolle ekologisista syistä, on osin aiheellinen. Myös viljelymaan riittävyys voi muodostua haasteelliseksi. Laskelmien mukaan jopa 20 % Tanskan noin 2,66 miljoonasta viljellystä hehtaarista jouduttaisiin ottamaan energiakasvikäyttöön. Tämä olettaen, että kysyntä täytettäisiin täysin kotimaisilla raaka-aineilla, joka ei ole kuitenkaan kovin realistinen vaihtoehto.

Viljellyn vehnähehtaarin energiapanostukset ovat vaihdelleet suuresti myös muissa tutkimuksissa (4300 MJ/ha - 18000 MJ/ha). Esimerkiksi Clements 1995; Börjesson 1996; Rosenberger 2001; Bailey 2003. Bentseninkin tutkimuksen tulokset osuvat tähän vaihteluväliin. Suuri vaihteluväli osoittaa kuinka monta muuttujaa vaikuttaa tuloksiin.

Maaperä, sademäärä, maatalouden intensiivisyys ja vuosivaihtelut ovat esimerkiksi näitä osamuuttujia.

6.2.4 Yhteenveto

Tanskan esimerkkitutkimus osoittaa, että IBUS- prosessilla tuotettu etanoli on energiataseeltaan hyvä. Sen energiasuhteen arvoksi saatiin 2,03, kun verrokkina olleessa greenfield- skenaariossa se oli vain 1,53. Kokonaisuudessaan yhden vehnähehtaarin prosessointi bioetanoliksi vaati IBUS- prosessilla 66000 MJ energiapanostuksen, kun se greenfield- skenaariossa olisi vaatinut 71900 MJ panostusta. Keskiarvoisesti yhdestä hehtaarista vehnää saatiin 2987 kg etanoli, 2510 kg DDGS proteiinirehua, 561 kg melassirehua, 1674 kg ligniiniä sisältävää biomassaa ja 2897 kg puhdasta hiilidioksidia. Tiheydellä 0,7894 kg/l laskettaessa hehtaarilta saatiin yhteensä 3783 litraa etanolia. Tonnin tuottamiseen kului siis yhteensä noin 22100 MJ IBUS- prosessilla ja greenfield- skenaariossa 24070 MJ. Nykyisellä vehnän satotasolla (7300 kg/ha) EU:n 5,75 % biopolttoainetavoitteen saavuttaminen vehnästä valmistetulla bioetanolilla vaatisi Tanskalta noin viidesosan koko sen 4818000 tonnin vehnäntuotannosta, jos mahdollista tuontia ulkomailta ei oteta huomioon.

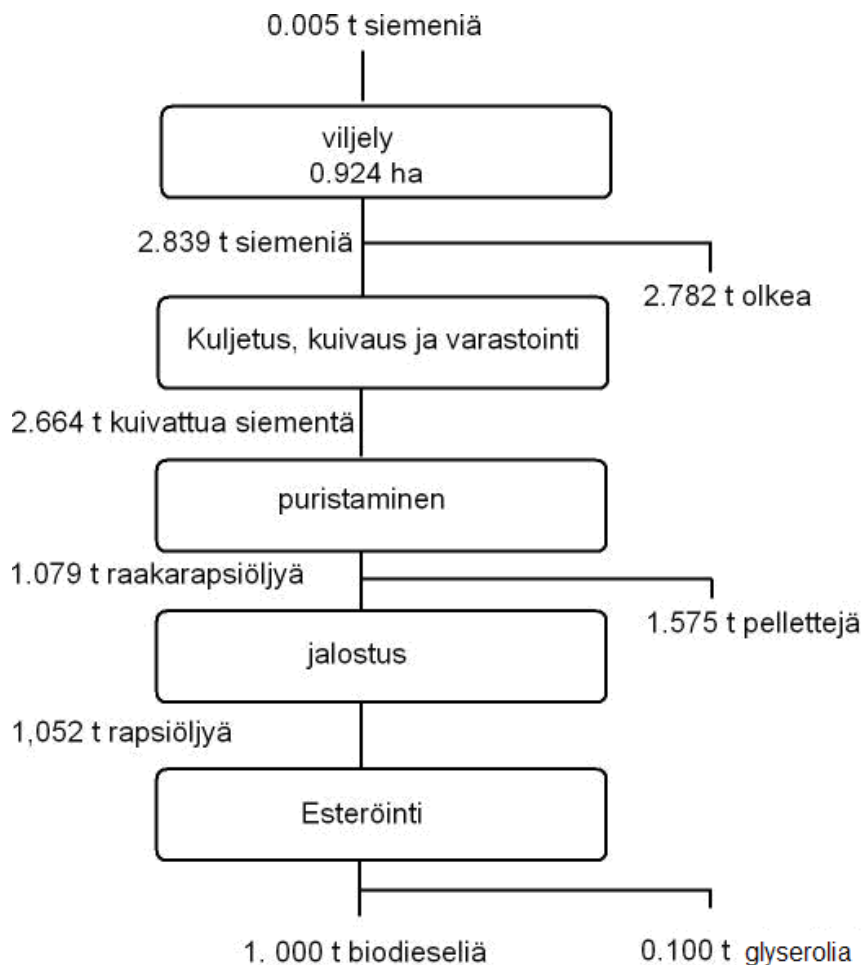
6.3 Case study: Iso-Britannia: Bioetanoli vehnästä ja biodiesel rapsista

Iso-Britanniassa vehnästä tuotettua bioetanoli ja rapsista tuotettua biodieseliä ja niiden elinkaarienergian määritystä kuvaava case study perustuu vuodelta 2003 peräisin olevaan Sheffieldin yliopiston tutkimukseen, jonka tekijöinä olivat R. E. Horne, N. D. Mortimer sekä M. A. Elsayed. Tutkimus julkaistiin nimellä "Energy and carbon balances of bioethanol production: biodiesel and bioethanol" IFS: n toimesta (Horne et al. 2003). Tutkimuksessa pyritään selvittämään vehnästä ja sokerijuurikkaasta tuotetun bioetanolin sekä rapsista tuotetun biodieselin energiavaatimukset sekä hiilen ja kasvihuonekaasujen päästövaikutukset. Case studyssa keskitytään edellä mainituista tuloksista energiavaatimuksiin vehnän ja rapsin kohdalla. Tuotantomenetelmät perustuvat ensimmäisen sukupolven teknologioihin, joka esimerkiksi biodieselin tapauksessa tarkoittaa vaihtoesteröintimenetelmää. Tutkimus toimii siis hyvänä vertailukohtana tutkittaessa juuri ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden tuotannon ja jalostuksen vaatimia energiapanostuksia ja niiden jakautumista prosessin aikana. Tutkimuksessa

käytetään pohjatietona jo olemassa olleita tutkimuksia vuosilta 1992 vuoteen 2002 ja niistä saatuja tuloksia sekä käytettyjä menetelmiä valiten näin parhaan mahdollisen mallin omille laskutoimituksilleen. Energialaskujen satoarvot perustuvat vuoden 1996 vehnän ja rapsin satotasoihin Iso-Britanniassa, mutta jalostuksessa ja viljelyssä käytetty teknologia perustuu nykYTEknologiaan. Myös torjunta-aineiden ja lannoitteiden käyttömäärät perustuvat vuoden 1996 tasoon (Gover et al. 1996).

6.3.1 Biodiesel

Biodieselin kohdalla parhaaksi käytettäväksi LCA- metodiksi ja laskelmien pohjaksi valittiin vuodelta 1997 oleva Kaltschmidt: n & Reinhardt: n tutkimuksen käyttämä malli (Kaltschmitt & Reinhardt 1997), koska tutkimus käsitteli kaikkia haluttuja osa-alueita sekä käytetty LCA- metodi havaittiin kaikkein kokonaisvaltaisimmaksi. Kyseessä olevan referenssitutkimuksen määritelmiä sovellettiin paremmin Iso-Britannian olosuhteita kuvaaviksi. Laskelmissa käytetyn tuotantolaitoksen biodieselin tuotantokapasiteetiksi oletettiin 40 000 tonnia vuodessa ja tuotantoprosessiksi valittu puristus- ja vaihtoesteröintimenetelmä katsottiin kaikkein potentiaalisimmaksi menetelmäksi Ison-Britannian oloissa tällä hetkellä ensimmäisen sukupolven teknologioista (Horne et al. 2003). Rapsin hehtaarisadoksi puolestaan oletettiin pyöristettynä 3100 kg/ha. Vertailun vuoksi Iso-Britannian satotasoennuste vuosille 2006 - 2007 on 3200 kg/ha, joten merkittävästä tuotannon kasvusta ei ole ollut kysymys (EFMA 2006). Lisäksi esimerkiksi Saksassa rapsin satoennuste vuosille 2006 - 2007 on 3500 kg/ha ja Ranskassa 3460 kg/ha (EFMA 2006). Kuvasta 39 selviää biodieselin tuotantoprosessin kaavio lukuarvoineen.

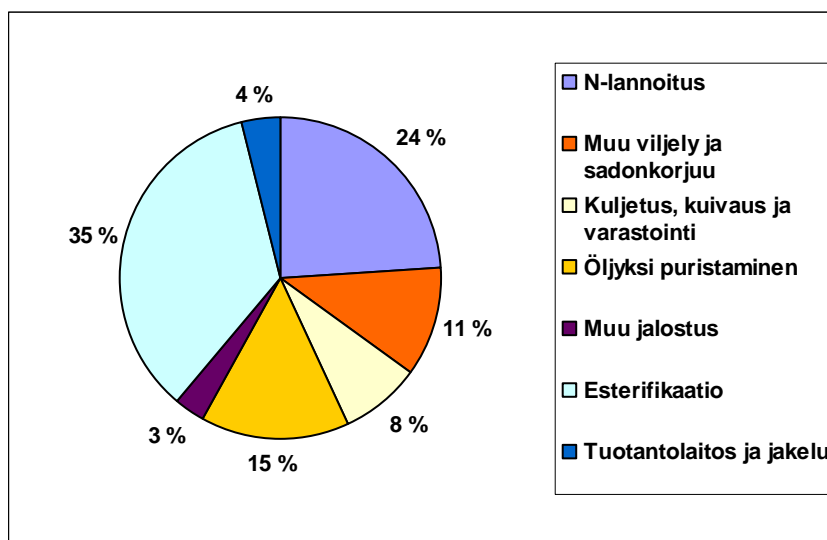


Kuva 39. Biodieselin tuotantoprosessi Iso-Britannian case study:ssa (Horne et al. 2003).

Kuten kuvasta 39 havaitaan, vaaditaan kyseessä olevalla prosessilla yhden biodieselsonnin tuottamiseen 0,924 hehtaarin peltoala tai vaihtoehtoisesti yhden hehtaarin rapsituotannosta voidaan jalostaa 1,082 tonnia biodieseliä. Tuotantoketjusta saadaan biodieselsonnin lisäksi lopputuotteena 0,1 tonnia glyserolia sekä öljynpuristuksen yhteydessä 1,575 tonnia rapsipellettiä, jota voidaan käyttää proteiinirehuna. Lisäksi hehtaarin pelloalalta voidaan korjata talteen halutessa 2,782 tonnia olkia, jotka on mahdollista käyttää esimerkiksi lämmöntuotantoon tai ne voidaan jättää pellolle, jolloin niiden hyöty perustuu maaperän lannoitukseen.

Energiaa yhden rapsipeltohehtaarin viljeleminen vaatii Hornen ja kollegojensa tutkimuksen perusteella $11666 \text{ MJ/ha} \pm 1216 \text{ MJ}$. Lukema on hieman alempi, kuin esimerkiksi tanskalaistutkimuksessa saatu 14560 MJ/ha arvo vehnälle (Bentsen et al. 2006). Energiaa vaativiksi osiksi viljelyprosessissa on eritelty typpilannoite, muut lannoitteet, torjunta-aineet, siemenet ja viljelyssä käytetty polttoaine. Korjatun rapsin prosessoinnin

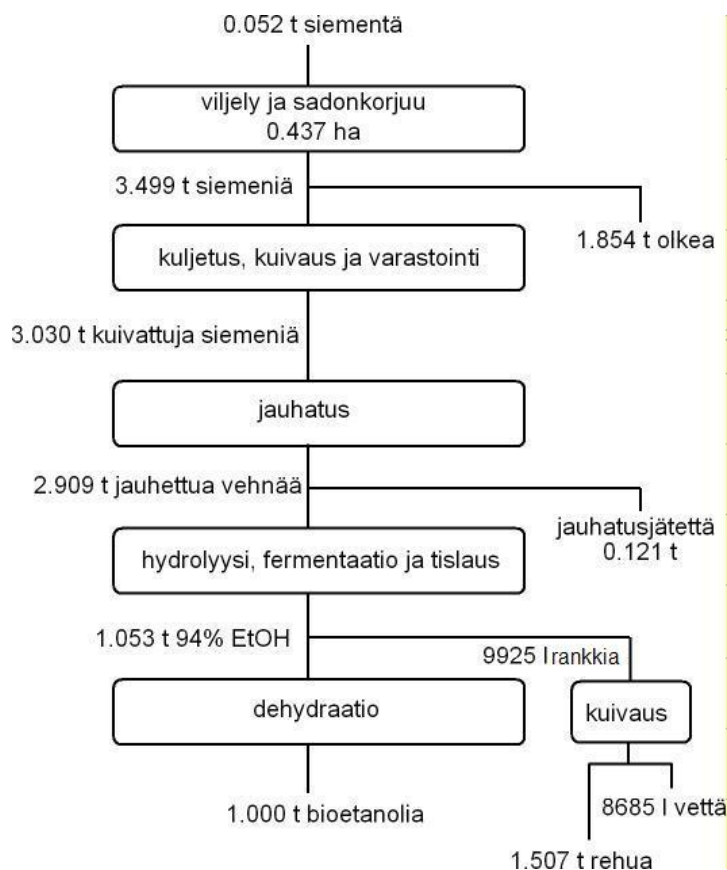
energiatarpeeksi tutkimus määrittää 16269 MJ / t biodieseliä, ja kun hehtaarista rapsia saadaan jalostettua 1,082 tonnia biodieseliä, saadaan yhden rapsihehtaarin biodieselin jalostuksen vaatimaksi energiamääräksi 17603 MJ/ha. Kuva 52 osoittaa näiden energiamäärien suhteellisen jakautumisen. Tiheydellä 0,88 kg/l laskettaessa yhdeltä hehtaarilta saadaan 1230 litraa biodieseliä. Kun tähän lisätään mukaan viljelyn ja korjuun vaatimat panostukset saadaan yhden rapsihehtaarin valmiiksi biodieseliksi muuntamiseen tarvittavaksi energiamääräksi 29269 MJ / ha. Biodieselin jalostuksessa tarvittavan ja käytössä vapautuvan energian suhdeluvuksi Hornen tutkimus määrittää $2,29 \pm 0,024$, joka tarkoittaa, että biodieseliä käytettäessä on mahdollista vapauttaa 2,29 kertaa se määrä energiaa, joka sen viljelyyn ja prosessointiin on vaadittu. Kuvasta 40 selviää miten biodieselin jalostuksen energiapanostukset jakautuvat prosessin eri vaiheiden kesken prosentuaalisesti.



Kuva 40. Biodieselin valmistusprosessin energiapanostusten jakautuminen prosentuaalisesti (Horne et al. 2003).

6.3.2 Bioetanoli

Myös vehnästä tuotetun bioetanolin kohdalla parhaaksi referenssitutkimukseksi Horne ja kollegansa olivat valinneet vuodelta 1997 olevan Kaltschmidt:n & Reinhardt:n tutkimuksen käyttämän LCA –mallin. Kyseessä olevan referenssitutkimuksen määritelmiä sovellettiin tässäkin tapauksessa paremmin Iso-Britannian olosuhteita kuvaaviksi. Bioetanolin tuotantoprosessi lukuineen selviää kuvasta 41.

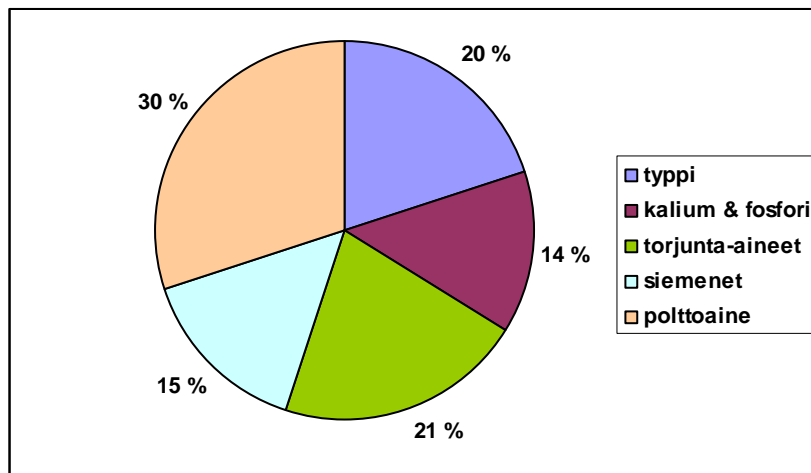


Kuva 41. Bioetanolin tuotantoprosessi Iso-Britannian case study:ssa (Horne et al. 2003).

Yhden bioetanolitonnin tuottamiseen vaaditaan 0,437 hehtaarin vehnäsato eli toisaalta yksi hehtaari tuottaa noin 2288 kg etanolia. Tämä tarkoittaa sitä, että vehnän satotasoksi on arvioitu 8000 kg/ha, mikä on lähes sama, kuin ennuste vuosille 2006 – 2007 eli 8100 kg/ha (EFMA 2006). Esimerkiksi Ranskassa satotasoarvio on 7170 kg/ha ja Saksassa 7555 kg/ha (EFMA 2006). Tuotettaessa tonni bioetanolia saadaan myös kuivauksen aikana talteen 8685 kg vettä ja tislauksen pohjatuotteesta 1,507 t rehua. Jauhatuksessa syntyy 0,121 t jauhatusjätettä ja pellolta voidaan korjata talteen 1,854 tonnia olkea hehtaaria kohti tai jättää vastaava määrä pellolle halutuista päämääristä riippuen.

Yhden vehnähehtaarin viljelyn vaatimaksi energiamääräksi tutkimus ilmoittaa 10759 MJ/ha \pm 814, joka melko paljon vähemmän kuin tanskalaistutkimuksen vastaava keskiarvo eli 14560 MJ/ha, mutta mahtui kuitenkin kyseessä olevassa tutkimuksessa saatujen arvojen joukkoon (Bentsen et al. 2006). Molempien tutkimusten hehtaarien energiapanostusmäärät

osuvat kuitenkin tanskalaistutkimuksen antamaan muiden vastaavien tutkimusten referenssiväliin eli 4300 MJ/ha - 18000 MJ/ha (Bentsen et al. 2006). Hornen tutkimuksessa energiaa vaativiksi osatekijöiksi viljelyssä on laskettu typpi-, fosfori- ja kaliumlannoitus, hyönteis- sekä kasvi- ja sienitautien torjunta-aineet, siemenet sekä polttoaine. Niiden vaatimat energiapanostukset jakautuvat seuraavassa suhteessa (kuva 42).



Kuva 42. Viljelyn vaatiman energiapanostuksen suhteellinen jakautuminen (Horne et al. 2003).

Itse korjatun vehnän prosessoinnin vaatimaksi energiapanostukseksi tutkimus on määrittänyt 12 389 MJ/t bioetanolia. Hehtaarilta vehnää saadaan 2288 kg bioetanolia. Näin yhden vehnähehtaarin prosessoiminen bioetanoliksi tulee vaatimaan 28350 MJ. Toisaalta yksi tonni bioetanolia vaatii 17153 MJ energiapanostuksen. Kun lasketaan yhteen viljelyn ja jalostuksen vaatimat energiapanostukset saadaan tulokseksi yhteensä 39109 MJ/ha, joka tarkoittaa siis yhden vehnähehtaarin bioetanoliksi prosessoinnin vaatimaa energia määrää. Tulos on huomattavasti pienempi, kuin esimerkiksi tanskalaistutkimuksen vastaava luku 66000 MJ/ha. Syitä näihin eroihin voidaan hakea tutkimusten erilaisesta lähestymistavasta ja eri parametrien huomioimisesta. Bioetanolin jalostuksessa tarvittavan ja käytössä vapautuvan energian suhdeluvuksi Hornen tutkimus määrittää $2,15 \pm 0,032$, joka tarkoittaa, että bioetanolia käytettäessä on mahdollista vapauttaa 2,15 kertaa se määrä energiaa, joka sen viljelyyn ja prosessointiin on vaadittu. Taulukko 6 antaa käsityksen siitä millaisia määriä Iso-Britannian pitäisi biopolttoaineita tuottaa, jotta EU:n vuodelle 2010 asettama 5,75 prosentin biopolttoainetavoite voitaisiin saavuttaa. Tähän tavoitteeseen yltäminen tulee olemaan haasteellista ja vaatii todennäköisesti raaka-ainepohjan laajentamista sekä

uusien teknologioiden käyttöönottoa (Turley 2006). Taulukosta 7 ilmenee keskimääräinen peltopinta-alan tarve 1000 tonnia kyseistä biopolttoainetta kohti eri raaka-ainekasvien osalta (Turley 2006).

Taulukko 6. Biopolttoaineiden tuotantomäärävaatimukset EU:n 2010 tavoitteen saavuttamiseksi Iso-Britanniassa (Turley 2006).

Biodiesel	Bioetanoli
1.40 miljoonaa t	2.19 miljoonaa t

Taulukko 7. Vaadittu peltopinta-ala 1000 tonnia tuotettua biopolttoainetta kohti Iso-Britanniassa (Turley 2006).

Biopolttoaine / tuotantokasvi	tarvittu peltoala / 1000t
Biodiesel	
rapsi	690 ha
Bioetanoli	
vehnä	433 ha
vehnän olki	645 ha
sokerijuurikas	244 ha

6.4 Case study: Biodiesel Saksassa ja Ranskassa rapsista

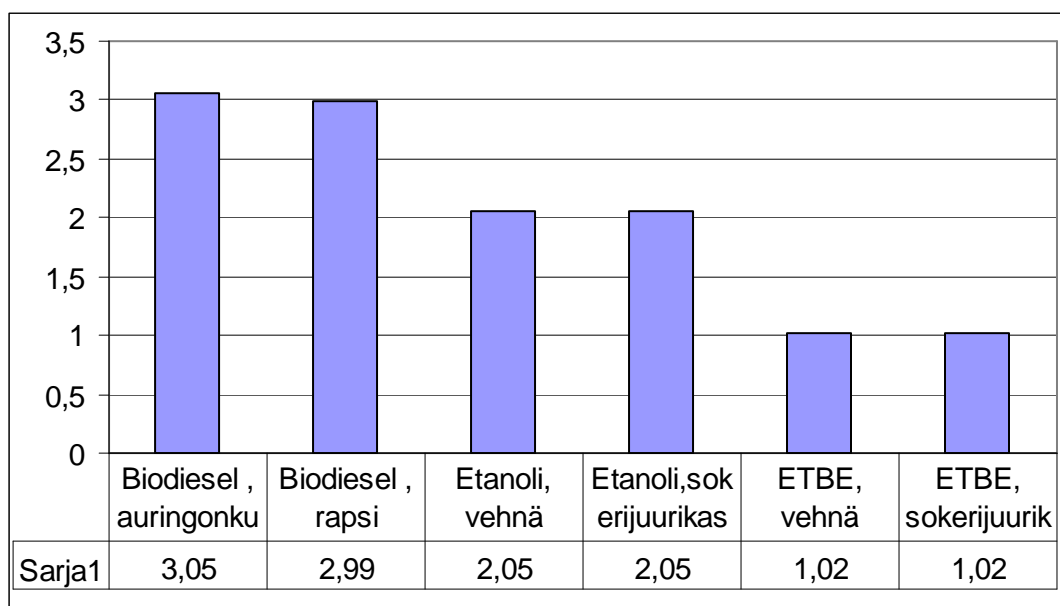
Keski-Euroopan ja rapsista tuotetun biodieselin osalta referenssiaineistona on käytetty muun muassa vuodelta 2006 olevaa Rathke ja Diepenbrock: n tekemää tutkimusta "Energy balance of winter oilseed rape cropping as related to nitrogen supply and preceding crop" rapsin (*Brassica napus L.*) viljelyn vaatimista energiapanostuksista. Tutkimus ja sen tulokset perustuvat vuosina 1995 – 2000 tehtyihin viljelykokeisiin Keski-Saksan alueella (Diepenbrock et al. 2006). Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää itse rapsin kasvatuksen yleisesti vaatimien energiapanostusten lisäksi se, onko edellisellä viljelykasvilla vaikutusta rapsin vaatimaan energiapanostukseen. Itse biodieselin tuotantoa tai sen vaatimia energiapanoksia ei tutkimuksessa esitetty. Tuloksiksi saatiin vaihteluväli 7240 – 16100 MJ/ha rapsin viljelyssä, joka osoittaa vaihtelut melko merkittäviksi. Vaikutuksia tulosten eriävyyksiin oli muun muassa lannoituksen intensiivisyydellä sekä normaalilla vuosien

välisellä olosuhteiden vaihtelulla. Edellä mainittuun vaihtelu väliin sopii myös brittiläistutkimuksesta saatu 11666 MJ/ha \pm 1216 MJ arvo rapsin viljelyn energiavaatimuksille (Horne et al. 2003). Keski-Euroopan rapsibiodieselin tuotantoa kuvaavana tutkimuksena käytettiin Alankomaiden ympäristöministeriön (VROM) tuottamaa tutkimusta "Participative LCA on biofuels" vuodelta 2005. Alankomaiden satotaso ja lannoitteiden käyttö on vertailukelpoinen Saksan ja Ranskan vastaavien lukemien kanssa vaikka rapsin tuotantomäärät ja viljelyspinta-ala ovat Alankomaissa vain murto-osa Saksan ja Ranskan vastaavista (taulukko 8).

Taulukko 8. Rapsin satotaso, typpilannoitteen käyttö ja viljelypinta-ala Saksassa, Ranskassa ja Alankomaissa 2006 – 2007 (EFMA 2006).

	kg/ha	N kg/ha	1000 ha
Saksa	3500	160	1100
Ranska	3450	150	900
Alankomaat	3400	175	3

Alankomaalainen tutkimus käyttää omana referenssitutkimuksenaan brittiläistä tutkimusta vuodelta 2003 (Horne et al. 2003), joten itse rapsibiodieselin energiapanostukseksi hehtaari kohti VROM: n tutkimus ilmoittaa yhtäläisen arvon 29269 MJ. Ranskan olosuhteiden perusteella tehty M. van Walwijk:n raportti (2005) valottaa Keski-Euroopan biopolttoaineiden jalostuksen vaatimia energiapanostuksia niin sanotun energiasuhdeluvun kautta eli vertaamalla viljely- ja jalostusprosessissa vaadittua energiapanostusta käytössä vapautuvaan energiaan. Kuva 44 osoittaa ensimmäisen sukupolven teknologioilla saavutettavia energiasuhdelukuja, jotka ovat vertailtavissa tanskalais- (Bentsen et al. 2006) ja brittiläistutkimusten (Horne et al. 2003) kanssa.



Kuva 44. Biopolttoaineiden energiasuhteita Ranskassa (Walwijk van. 2005).

Rapsista tuotetulle biodieselille Walwijk:n tutkimuksessa saatu energiasuhdeluku 2,99 on korkeampi, kuin brittiläistutkimuksen 2,29. Vehnästä tuotetun biodieselin kohdalla vastaavaksi lukuarvoksi on ilmoitettu 2,05, joka on puolestaan alhaisempi, kuin brittiläisen vastineensa 2,15. Tanskalaistutkimuksessa toisen sukupolven teknologialla toteutetusta vehnäbioetanolin tuotannosta saatu energiasuhdeluku on 2,03, mutta saman tutkimuksen verrokkitutkimus ensimmäisen sukupolven teknologialla tuotetusta vehnäbioetanolista antaa energiasuhdeluvuksi ainoastaan 1,53.

6.5 Case study: Bioetanoli Espanjassa vehnästä

Espanjan ympäristöministeriön (MMA), muun valtakunnallisen ympäristön arviointitahon (DGCEA) ja Espanjan opetusministeriön toimeksi annosta vuonna 2005 suoritettu LCA-tutkimus "Life cycle assesment of wheat and barley crops for bioethanol production of Spain" valottaa vehnästä tuotetun bioetanolin energiavaatimuksia eteläisen Euroopan olosuhteissa.

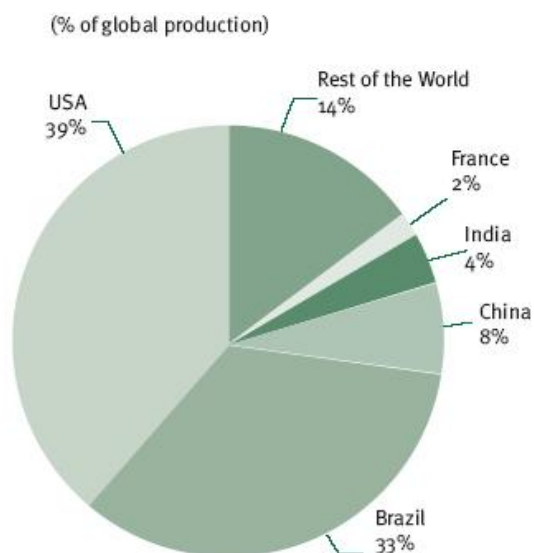
Espanjan olosuhteissa vehnän satotasot jäävät pienemmiksi verrattuna Keski-Eurooppaan ja Iso-Britanniaan ja ovat lähellä esimerkiksi Suomen tasoa. Lechonin tutkimuksessa oletukseksi on otettu 3409 kg/ha vehnää (Lechon et al. 2005), kun EFMA:n satoarvio vuosille 2006 – 2007 on 3118 kg/ha eli hieman pienempi (EFMA 2006). Yhden hehtaarin

bioetanolin tuotantopotentiaaliksi tutkimuksessa on määritelty 1176 kiloa, joka on huomattavasti pienempi määrä, kuin esimerkiksi ensimmäisen sukupolven teknologioihin perustuvan brittiläistutkimuksen 2288 kiloa (Horne et al. 2003) tai tanskalaistutkimuksen 2987 kg/ha (Bentsen et al. 2006). Tuotettu litramäärä hehtaarilta on 1490 litraa. Yhden bioetanolitonnin valmistaminen vaatisi näin 52020 MJ energiapanostuksen. Espanjalaistutkimus ei ole kovin seikkaperäinen erotellessaan prosessin kulkua, mutta esimerkiksi DDGS- rehun talteenotto ja olkien käyttäminen myös rehuksi tulee esille. Jalostusprosessi perustuu ensimmäisen sukupolven teknologiaan. Energiämäärä, jonka hehtaarin vehnäsadon muuntaminen bioetanoliksi vaatii (61176 MJ/ha), on esimerkiksi brittiläistutkimukseen verrattuna melko paljon suurempi (Horne et al. 2003).

7. Biopolttoaineet globaalisti

7.1 Biopolttoaineet Pohjois-Amerikka

Yhdysvallat on Brasilian kanssa maailman johtavia biopolttoaineiden tuottajia ja erityisesti bioetanolin (kuva 45).

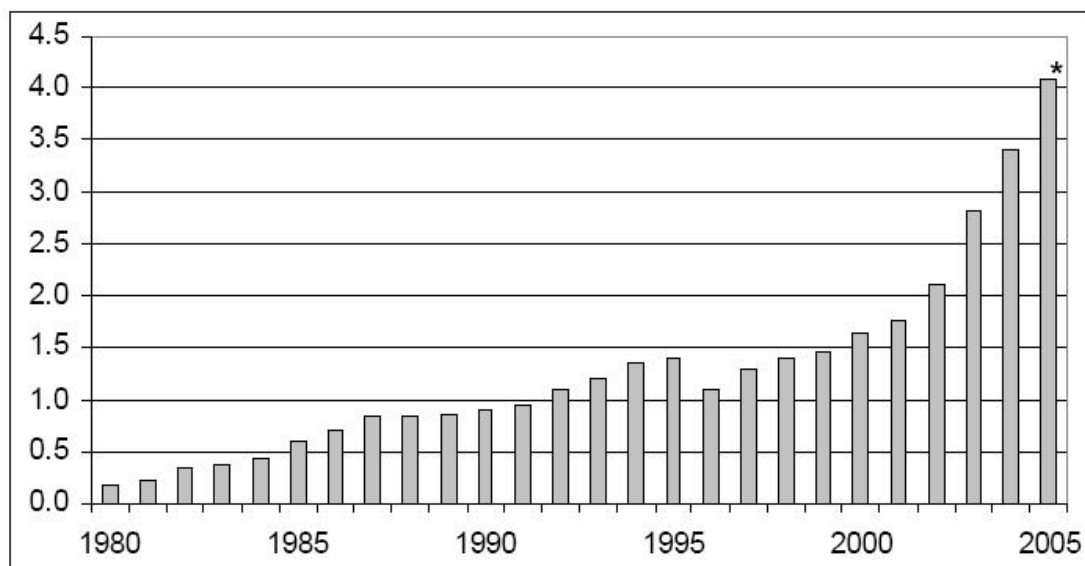


Kuva 45. Etanolin tuotannon jakautuminen (RFA 2007).

Käytännössä bioetanolin tuotanto on USA:n eniten viljellyn kasvin eli maissin varassa, jota USA tuottaa 42 prosenttia koko maailman tuotannosta. Maissia kasvatetaan hieman alle neljäsosalla koko USA:n peltopinta-alasta eli noin 30 miljoonalla hehtaarilla (Patzek

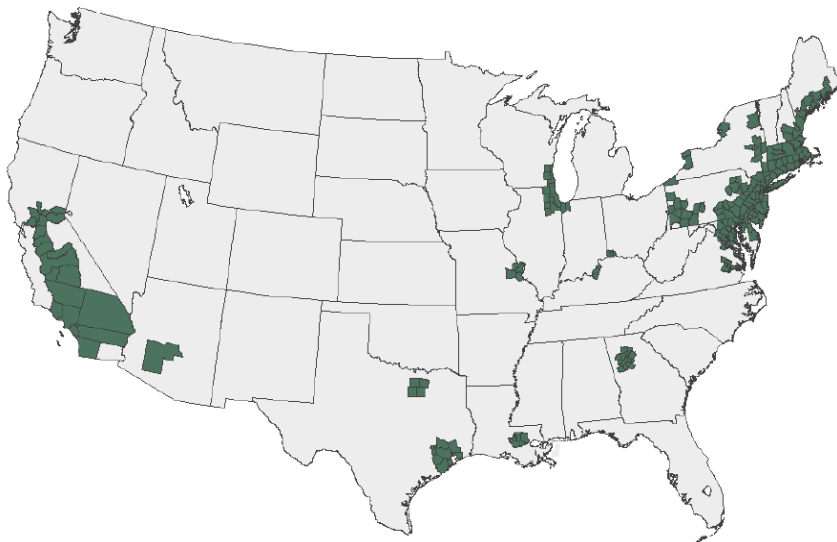
2006). Noin viidesosa USA:n maissisadosta käytetään tällä hetkellä bioetanolin valmistamiseen (Bourne 2007). Maissin satotaso on Yhdysvalloissa noin 10000 kg/ha. Harvard Business School: n vuonna 2005 julkaiseman tutkimuksen (Reinhard et al. 2005) perusteella maissista tuotetun bioetanolin hehtaariutuoksi arvioitiin 3961 l/ha. Vuosina 1997 – 2004 julkaistuissa tutkimuksissa hehtaariutuotto vaihteli välillä 2406 – 3201 l/ha (Patzek 2006). Yhdysvaltain maataloustuotannosta vastaavan ministeriön (USDA) mittausten perusteella Harvardin tutkimuksessa laskettiin maissibioetanolin tuotantoprosessin energiasuhdeluvuksi 1.67 (Reinhard et al. 2005). Kokonaisenergiämäärä, joka voidaan saada yhdeltä hehtaarilta bioetanolina, on vuodelta 2006 olevassa tutkimuksessa 77100 MJ/ha ja vaihtelee aiemmissa, vuosilta 1997 -2004 julkaistuissa, tutkimuksissa välillä 74820 – 56240 MJ/ha (Patzek 2006). Nykyisillä ensimmäisen sukupolven prosesseilla vain maissintähkät voidaan käyttää bioetanolin tuotantoon. Toisen sukupolven selluloosan hyödyntämisen mahdollistavat teknologiat antavat mahdollisuuden hyödyntää myös maissin varren ja tätä kautta hehtaarisadon uskotaan nousevan 1100 – 2000 l/ha (Nature 2006).

Etanolin tuotantomäärät ovat olleet jo pitkään kasvussa, mutta vasta parin viime vuoden aikana ne ovat lähteneet lähes räjähdysmäiseen nousuun ja nousu jatkuu edelleen kiihtyvänä (kuva 46).



Kuva 46. Etanolin tuotanto USA:ssa 1980 - 2005, miljoonaa galloniaa (Reinhard et al. 2005).

Yhdysvalloissa on tällä hetkellä toiminnassa jo noin 115 etanolin tuotantolaitosta ja kokonaistuotanto vuonna 2007 arvioidaan olevan noin 23 miljoonaa litraa. Vuonna 2008 on arvioiden mukaan avautumassa 89 uutta tuotantolaitosta ja tuotantomäärien pitäisi ylittää 30 miljoonan litran rajapyykki (Agra Europe 2007c). Vaikka maissin tuotantomäärät ovat tällä hetkellä suurimpia Toisen maailmansodan jälkeen, on myös Yhdysvaltain liikennepolttoaineiden kulutus mittavaa. Vaikka nykyisen viidesosan sijasta koko maissisato käytettäisiin bioetanolin valmistukseen, pystyttäisiin sillä tyydyttämään vain 12 prosenttia Yhdysvaltain bensiinin kysynnästä (Bourne 2007). Yhdysvallat on kuitenkin asettanut koko liittovaltiota kattavan tavoitteen vuodelle 2017, jolloin biopolttoaineiden käyttömäärä tulisi olla 15 prosenttia kaikista liikennepolttoaineista (Bourne 2007). Jo nykyisin useat kaupungit ja piirikunnat ovat asettaneet omia liikennepolttoaineen biopitoisuustavoitteita ja rajoitteita (kuva 47).



Kuva 47. USA:n piirikuntia, jotka ovat asettaneet päästörajoituksia liikennepolttoaineille (Reinhard et al. 2005).

Vaikka Yhdysvallat nähdään erityisesti bioetanolia käyttävänä alueena, on myös sen biodiesel tuotanto mittavaa ja tuotantomäärien uskotaan pian ohittavan EU:n tason. Vuoden 2008 tuotannon arvioidaan olevan noin 9,5 miljoonaa litraa (Agra Europe 2007b). Silti tämäkään määrä ei riittäisi tyydyttämään, kuin 6 prosenttia USA:n liikennedieselpolttoainetarpeesta (Bourne 2007).

Vaikka maissista valmistettu bioetanoli saa Yhdysvalloissa tällä hetkellä paljon julkisuutta, ei sitä kuitenkaan nähdä tulevaisuuden biopolttoaineena, ainakaan ensimmäisen

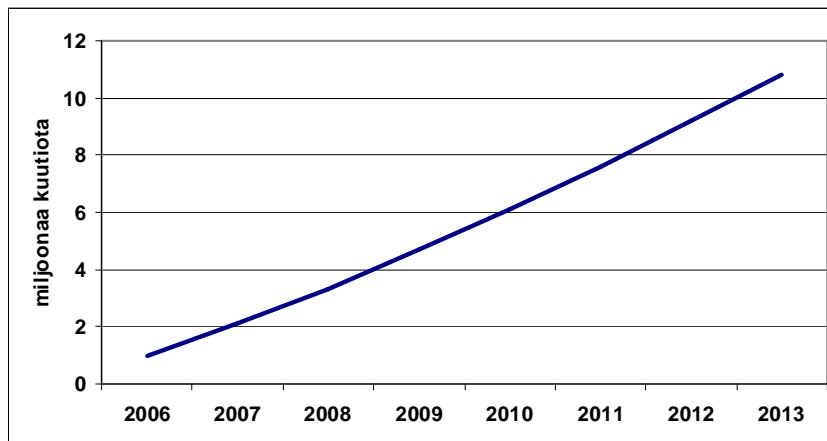
biopolttoainesukupolven tuotantoteknologioilla. Maissietanoli häviää reilusti muun muassa satotasoissa jopa 5300 – 6500 litran hehtaarisatoihin yltävälle sokeriruokoetanolille (Nature 2006) ja maissietanolin valmistusprosessia ei nähdä tehokkaana (Patzek 2006; Bourne 2007). Osa tutkimuksista jopa pitää maissietanolin tuottamista energiataseen kannalta täysin kannattamattomana (Patzek 2006), mutta tämä ei ole kuitenkaan vallitseva käsitys. Yhtenä syynä prosessin heikkoon kannattavuuteen nähdään maissin tuotannon vaatima suuri typpilannoitteen määrä. Kaikki USA:n maissipellot ovat lannoitettuja ja 40 prosenttia kaikesta Yhdysvalloissa käytettävästä typpilannoitteesta kuluu maissin viljelyyn. Maissin monokulttuuriviljely nostaa myös merkittävästi peltojen eroosioriskiä (Patzek 2006).

7.2 Biopolttoaineet Brasiliassa

Brasiliaa voidaan pitää biopolttoaineiden ja erityisesti bioetanolin käytön kannalta edelläkävijävaltiona maailmassa, koska Brasilia on hyödyntänyt sokeriruokoetanolia tuottamaansa bioetanolia laajamittaisesti jo 30 vuoden ajan. Brasilia on maailman suurin sokeriruokoetanolin tuottaja vuonna 2007 noin 528 miljoonalla tonnilla, josta noin 39 prosenttia käytetään bioetanolin valmistamiseen. Etanolia Brasilia tuottaa vuonna 2007 noin 17.8 miljoonaa kuutiota ja on yhdessä USA:n kanssa johtava bioetanolin tuottaja maailmassa (Lovins et al. 2005; Correa do Lago 2006; Agra Europe 2007d). Brasiliassa myydyistä uusista autoista 85 prosenttia käyttää polttoaineenaan bioetanolia (Bourne 2007).

Bioetanolin tuotanto on merkittävässä asemassa koko Brasilian valtiontaloutta ajatellen ja työllistää suoraan lähes 800 000 henkilöä. Osin bioetanolin tuotannon takia Brasilia on fossiilisen öljyn osalta omavarainen. Maalla tosin on myös merkittäviä maaöljyvarantoja. Brasilian bioetanolihojelman lasketaan kuitenkin säästäneen ulkopuolelta tuotua maaöljyä 50 miljardin USA:n dollarin edestä vuosien 1975 -2002 aikana. Nousussa oleva sokerin maailmanmarkkinahinta on myös edullista Brasilialle sen ollessa sokeriruokoetanolin johtava tuottaja maailmassa (Lovins et al. 2005; Correa do Lago 2006).

Brasilia pyrkii edelleen kasvattamaan bioetanolin tuotantoaan sisäistä kulutusta ja vientiä ajatellen. Brasiliassa on tällä hetkellä yli 300 bioetanolin tuotantolaitosta ja kasvun oletetaan jatkuvan kiihtyvänä (kuva 48) (IEA 2007a).

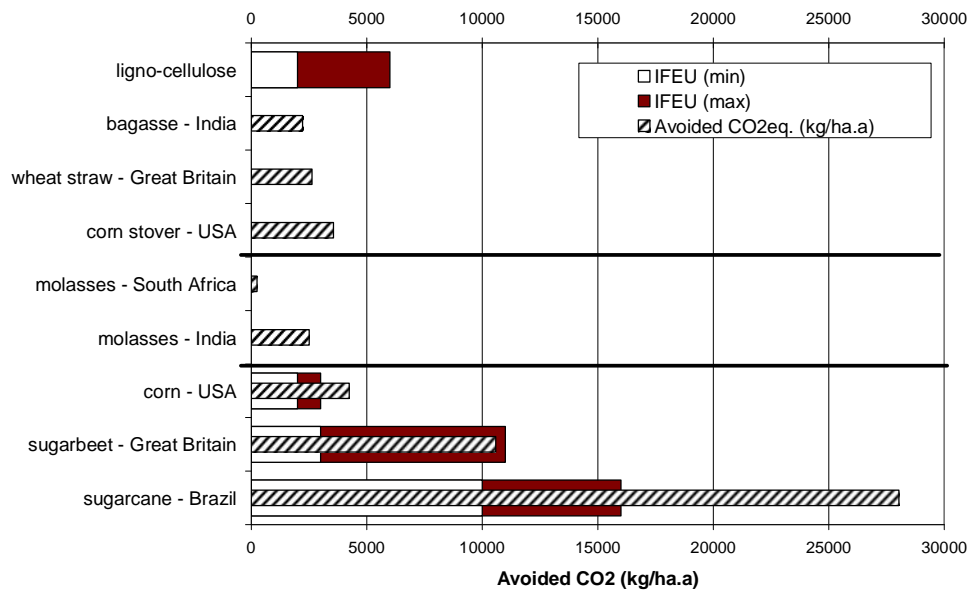


Kuva 48. Ennakoitu bioetanolin tuotannon kasvu Brasiliassa 2006 – 2013 (IEA 2007a).

Sokeriruoko itsessään (*Saccharum officinarum*) on yksivuotinen ruohokasvi, joka kasvaa ainoastaan trooppisissa tai subtrooppisissa olosuhteissa. Se nähdään tällä hetkellä ehkä parhaimpana ja tehokkaimpana raaka-ainekasvina ensimmäisen sukupolven biopolttoaineprosesseille. Hehtaarisadot vaihtelevat välillä 5300 – 6300 litraa etanolia hehtaarilta, joka on merkittävästi enemmän kuin esimerkiksi vehnällä tai maissilla. Itse valmistuksessa käytettävä sokeri on suhteellisen helppoa erottaa eikä näin ollen vaadi kovin paljon energiapanostuksia moniin muihin bioetanolin raaka-ainekasveihin verrattuna (Lovins et al. 2005; Nature 2007). Kokonaistuotantoprosessista tekee entistä edullisemman energiataseen kannalta se, että lähes kaikki tuotannossa syntynyt orgaaninen materiaali voidaan käyttää tuotantolaitoksissa polttamalla sähköntuotantoon (Nature 2007). Osin tästä syystä sokeriruokoetanolin tuotanto kuluttaa suhteellisesti vähemmän fossiilisia polttoaineita ja myös prosessin hiilidioksidipäästöt ovat vastaavasti pienemmät (taulukko 9 & kuva 49) (Blottnizt von & Curran 2007).

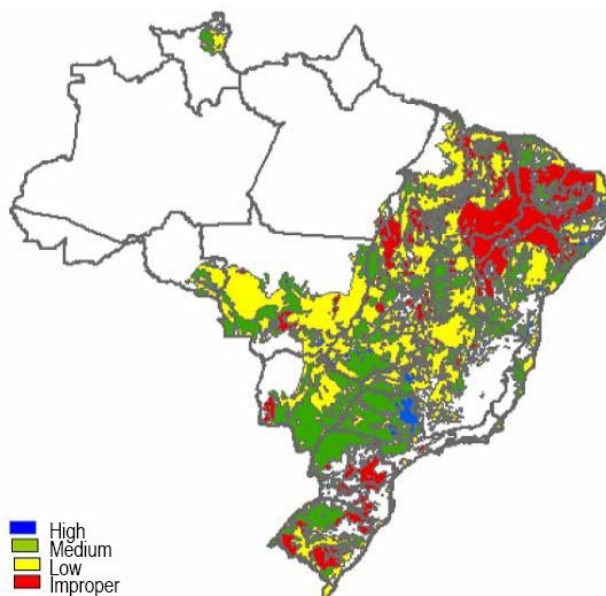
Taulukko 9. Bioenergian saanti verrattuna fossiilisen energian panostukseen bioetanolin tuotannossa eri raaka-aineilla (Blottnizt von & Curran 2007).

Kasvi & alue	Energiasuhdeluku
Sokeriruoko, Brasilia	7.9
Sokerijuuri, Iso-Britannia	2.0
Maissi, USA	1.3
Vehnän olki, Iso-Britannia	5.2



Kuva 49. Oletettu hiilidioksidipäästö eri bioetanolin tuotantoprosesseissa (Blottnitz von & Curran 2007).

Mahdollisuuksia sokeriruokoetanolin valmistuksen lisäämiseen Brasiliassa on edelleen ilman, että esimerkiksi Amatsonin alueen sademetsiä joudutaan raivaamaan merkittävästi. Sokeriruo'on viljely on myös mahdollista hyvin vähällä kastelulla ja tämä osaltaan lisää mahdollisuuksia tuotannon laajentamiseen (kuva 50) (Lovins et al. 2005).



Kuva 50. Alueiden soveltuvuus sokeriruo'on viljelyyn Brasiliassa ilman erillistä kastelua. (Correa do Lago 2006)

Vaikka sokeriruo'osta valmistettu bioetanoli on ensimmäisen sukupolven biopolttoaineista yksi niistä joilla on jo todellista kaupallista potentiaalia, on pitkän aikavälin ennusteita markkinatilanteen kehityksestä tehdä. Sokeriruokoetanolia voidaan pitää monien tutkimusten valossa useimpiin muihin ensimmäisen sukupolven bioetanoleihin verrattuna sekä energiataseen että ympäristön kannalta edullisena vaihtoehtona. Tosin esimerkiksi EU joutuu jo sokeriruo'on kasvupaikkavaatimusten takia nojautumaan ulkopuoliseen tuontiin, jolloin kokonaisvaikutuksia energiatalouden ja ympäristön kannalta on vaikeampi mallintaa.

7.3 Palmuöljyä Aasiasta

Vaikka öljypalmusta (*Elaeis guineensis*) saatava palmuöljy nähdään tulevaisuudessa yhtenä mahdollisena pääraaka-aineena biopolttoaineille eli tarkemmin sanottuna biodieselille on sitä käsitelty tutkimuksessa melko vähän. Toisaalta palmuöljyn päätuotantoalueisiin Kaakkois-Aasiassa liittyy paljon ekologisia ja sosiaalisia kysymyksiä, jotka nousevat monessa artikkelissa vahvasti esiin. Vaikka toisen sukupolven biopolttoaineteknologiat mahdollistavat raaka-ainekasvivalikoiman laajentamisen, nähdään palmuöljy edelleen ainakin aluksi merkittävässä roolissa, kun puhutaan biopolttoainetuotannon laajamittaisesta kasvusta. Näkemys perustuu ennen kaikkea tuotantoalueilla saatavissa olevaan halpaan työvoimaan ja edulliseen viljelymaahan, jotka laskevat palmuöljyn tuotantoketjun vaatimia pääomapanostuksia. Myös hehtaarituohto on palmuöljyn kohdalla yksi sen kilpailuvalteista globaalissa biopolttoainekaupassa (World Watch 2006). Arviot todellisesta raakaöljymäärästä hehtaarilta vaihtelevat suuresti välillä 5700 - 7820 kg/ha (IOI Group 2007). Biodieseliksi jalostettuna tämä määrä on 6480 - 8890 l/ha. Palmuöljyn öljyä tuotetaan useassa eri maassa, mutta esimerkiksi vuoden 2006 noin 40 miljoonan tonnin kokonaistuotannosta vastasivat 85 prosenttisesti Malesia ja Indonesia. Kaakkois-Aasian ulkopuolella palmuöljyä tuotetaan merkittävästi muun muassa Nigeriassa ja Kolumbiassa (Oil World 2006a). Malesia tuottaa tällä hetkellä eniten palmuöljyä eli noin 16 miljoonaa tonnia ja tuotannon merkittävyys näkyy siinä, että viljelypinta-ala kattaa lähes kymmenen prosenttia koko valtion pinta-alasta. Toiseksi suurin tuottaja Indonesia tuottaa palmuöljyä lähes saman verran eli hieman alle 16 miljoonaa tonnia ja sen uskotaan nousevan maailman johtavaksi palmuöljyn tuottajaksi lähitulevaisuudessa. Indonesian nousun puolesta puhuu muun muassa se, että Malesialla ei ole enää uusia merkittäviä alueita, jotka se voisi valjastaa palmuöljyn tuotantoon toisin kuin Indonesialla. Myös

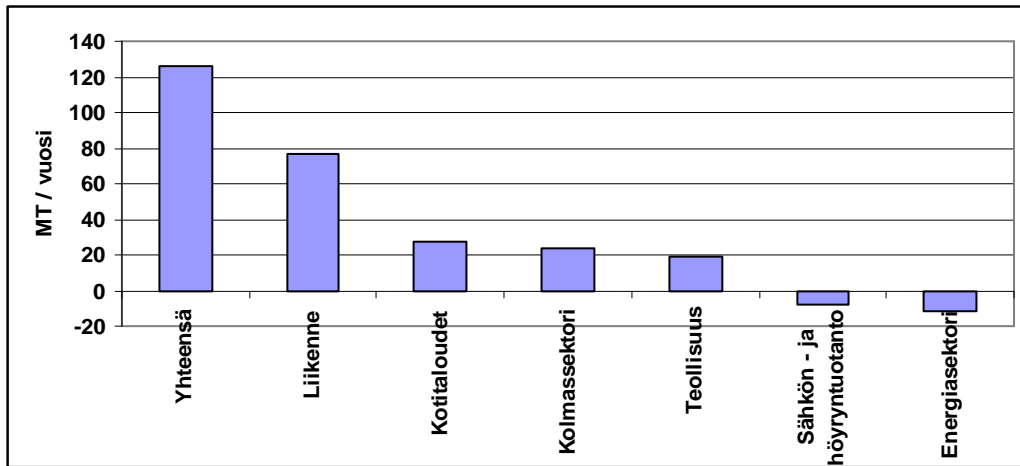
viljelymaan hinta ja työvoimakustannukset ovat merkittävästi korkeampia Malesiassa Indonesiaan verrattuna (Oil World 2006b).

Palmuöljyn viljelyn Kaakkois-Aasiassa uskotaan edelleen kasvavan, koska biopolttoaineiden aiheuttaman kiinnostuksen lisäksi palmuöljy soveltuu hyvin ominaisuuksiltaan elintarviketuotantoon sekä eri teollisuudenalojen käytettäväksi. Väestönkasvun muun muassa Intiassa ja Kiinassa oletetaan nostavan myös palmuöljyn elintarvikekysyntää ja tätä kautta lisäävän paineita entistä laajemmalle tuotannolle. Suurista tuottajamaista Malesia ja Indonesia tukevat voimakkaasti palmuöljyn tuotannon lisäämistä poliittisilla päätöksillä. Kaakkois-Aasiaa viljelyalueena puoltavat jo edellä mainittujen seikkojen lisäksi myös se, että merkittäviä tuholaisongelmia on melko vähän ja lannoituksen tarve on melko pieni (Glastra et al. 2002).

Palmuöljyn tuotannosta on tuotu esiin useita ongelma kohtia joista tärkeimpinä metsien hävittäminen plantaasien tieltä sekä monet sosiaaliset ongelmat kuten siirtotyöläisten olot. Tämä ei kuitenkaan poista sitä tosiasiaa, että muun muassa EU:n itselleen asettama biopolttoainetavoite lisää jatkuvasti paineita tuotannon kasvattamiseen alueella. Oman tutkimuksensa arvoinen seikka olisi miettiä, kuinka kannattavaa kokonaisympäristövaikutusten on kannalta rahdata palmuöljyä jalostettavaksi biodieseliksi EU:n alueelle ja saavutetaanko tätä kautta alun perin suunnitellut ympäristöhyödyt.

8. Johtopäätökset

Biodieselin ja bioetanolin energiavirrat ja tuotannon ympäristövaikutukset sekä biopolttoaineiden yleinen tilanne globaalissa maailmantaloudessa" osoittautui laajaksi kokonaisuudeksi, jota oli lähdettävä purkamaan pala kerrallaan. Konkreettisin havainto ympäristön kannalta oli aluksi huomata, että liikenne ja sitä kautta biopolttoaineet todella ovat avainasemassa, kun tarkastellaan hiilidioksidipäästöjä ja ennen kaikkea niiden muutosta viimeisen vuosikymmenen aikana sekä tulevaisuuden ennusteita asiaan liittyen (kuvat 51).



Kuva 51. Ennustettu muutos CO₂-päästöissä EU25:n alueella 2005 – 2020 (PRIMES 2006).

Kokonaisuutta lähdettiin purkamaan case study- tutkimusten kautta, joista tanskalainen (Bentsen et al. 2006) ja brittiläinen (Horne et al. 2003) käsiteltiin kokonaisvaltaisemmin. Yksittäistä Keski-Euroopan olosuhteita kuvaavaa case study- tutkimusta, joka olisi vertailukelpoinen muiden kanssa, ei löytynyt joten se koostettiin useammasta erillisestä tutkimuksesta (Diepenbrock et al. 2005; Walwijk van 2005). Espanjalainen tutkimus otettiin mukaan, jotta saataisiin vertailupohjaa mahdollisille viljelyolosuhteista ja tätä kautta satotasoina johtuville muutoksilla (Lechon et al. 2005). Haluttuja tuloksia, joita tutkimuksista pyrittiin vertailemaan, olivat muun muassa:

- energiasuhdeluku
- biopolttoaineen tuotto (l/ha)
- vaikutus kasvihuonekaasu- / hiilidioksidipäästöihin
- vaadittu energiapanostus viljeltäessä 1 ha raaka-ainekasvia ja jalostettaessa se biopolttoaineeksi
- energiapanosten jakautuminen koko tuotantoprosessin aikana
- sivuenergiavirtojen, kuten oljen vaikutus kokonaisuuteen

Muun muassa näiden muuttujien perusteella pyrittiin vastaamaan pro gradu- tutkielman alussa laadittuihin tutkimusongelmiin.

Kokoavissa taulukoissa (taulukot 10, 11, 12 & 13) esitetään case study- tutkimuksista sekä pro gradu- tutkielmasta saadun numerodatan koottuna vertaileviin taulukoihin. Case study- tutkimusten lisäksi taulukoihin on muita koottu aiheeseen liittyviä tutkimuksia ja artikkeleita helpottamaan keskinäistä vertailua.

Taulukko 10. Energiasuhdeluku

Case study- tutkimukset:	Bioetanoli / vehnä	Bioetanoli / maissi	Bioetanoli / sokeriruoko	Biodiesel / rapsi	2. sukupolven biodiesel / selluloosa
Bentsen et al. 2006 / 2. sukupolvi	2,05	-	-	-	-
Bentsen et al. 2006 / 1. sukupolvi	1,53	-	-	-	-
Horne et al. 2003	2,15	-	-	2,29	-
Waljwik van. 2005	2,05	-	-	2,99	-
Muut tutkimukset:					
Reinhard et al. 2005	-	1,67	-	-	-
Blottnitz von & Curran 2007	-	-	7,9	-	-
Bourne 2007	-	1,3	8,0	2,5	2 – 36

Taulukko 11. Tuotto l/ha

Case study- tutkimukset:	Bioetanoli / vehnä	Bioetanoli / maissi	Bioetanoli / sokeriruoko	Biodiesel / rapsi	Biodiesel / palmuöljy
Bentsen et al. 2006	3780	-	-	-	-
Horne et al. 2003	2900	-	-	1230	-
Lechon et al. 2005	1490	-	-	-	-
Muut tutkimukset:					
Reinhard et al. 2005	-	3960	-	-	-
Patzek 2006	-	2400 - 3200	-	-	-
IOI Group 2007	-	-	-	-	6480 – 8890
Marris 2006	-	3100 - 3900	5300 - 6500	-	5000 – 6000

Taulukko 12. CO₂-päästöjen vähennys verrattuna bensiiniin (2.8 kg CO₂/l) tai fossiiliseen dieseliin.

Muut tutkimukset:	Bioetanoli / vehnä	Bioetanoli / maissi	Bioetanoli / sokeriruoko	Biodiesel /kasviöljy	lignoselluloosa
Marris 2006	-	10 – 20 %	87 – 96 %	-	-
IEA 2007	15 – 25 %	15 – 25 %	90 %	40 - 60 %	70 - 100 %
Bourne 2007	-	22 %	56 %	68 %	91 %

Taulukko 13. Vaadittu energiapanostus (MJ) jalostettaessa yhden hehtaarin alalta raaka-
ainekasvia halutuksi biopolttoaineeksi.

Case study-tutkimukset:	Bioetanoli / vehnä	Bioetanoli / maissi	Biodiesel / rapsi
Bentsen et al. 2006 / 2. sukupolvi	66100	-	-
Bentsen et al. 2006 / 1. sukupolvi	71900	-	-
Horne et al. 2003	39110	-	29290
Lechon et al. 2005	52020	-	-
Muut tutkimukset:			
Patzek 2006	~ 52000	-	-

1. Mikä biopolttoaineen tuotantokasvin satotason on vähintään oltava, jotta kokonaisenergiatase on 0 tai positiivinen?

Ongelmaa miettiessä huomattiin pian, että kaikkien case study- tutkimusten tuotantokasvien viljelyn ja niistä valmistettujen biopolttoaineiden kokonaisenergiatase ja sitä ilmentävä energiasuhdeluku oli positiivinen vaikka vaihtelua niiden välillä olikin melko suurta. Poikkeuksen muodosti espanjalaistutkimus (Lechon et al. 2005), jossa energiasuhdelukua ei ollut saatavilla eikä sitä ollut mahdollista laskea. Espanjan tapauksessa pienen hehtaarituoiton ja suuren energiapanostuksen takia voidaan olettaa energiasuhteen olevan lähellä neutraalia tai jopa negatiivinen. Vaikka satotasolla on merkittävää vaikutusta, on niin sanotun minimisatotason, jolla tuotanto on vielä

kannattavaa, määrittely usein hankalaa ellei täysin mahdotonta. Espanjan tapaus verrattuna muihin case study- tutkimuksiin antaa kuitenkin oletuksen, että monilla pienen hehtaarituoiton alueilla vehnän viljely biopolttoaineen raaka-aineeksi ei ole energiataseen kannalta kannattavaa. Energiataseen kannalta viljelyn ja tuotannon kannattavuus vaihtelee tapauskohtaisesti ja eikä sitä voida yhdistää suoraan yhteen muuttujaa kuten satotasoon vaikka se merkittävä tekijä onkin.

Satotason merkityksen tuo selvästi esille vehnäbioetanolin kohdalla taulukossa 11 esitetty litratuotto hehtaaria kohti. Se osoittaa sen, että esimerkiksi Espanjan olosuhteissa ja vehnän keskisatotasolla (~3000 kg/ha) jäädään selvästi jälkeen etanolin tuotantomäärissä verratessa niitä esimerkiksi noin Iso-Britannian (~8000 kg/ha) ja Tanskan (~7000 kg/ha) keskisatotasoihin. Näillä edullisempien olosuhteiden alueilla etanolin tuotantomäärät nousevat jopa noin kaksinkertaisiksi. Satotason absoluuttista painoarvoa on hankala määrittää, mutta tulokset ovat kuitenkin oletetun suuntaisia. Johtopäätöksiä voidaan samalla logiikalla tehdä myös esimerkiksi biopolttoaineiden tuotannon mielekkyydestä Suomessa, jossa vehnän keskisatotaso on verrattavissa (~3500 kg/ha) Espanjan vastaavaan, vaikka tosin esimerkiksi kosteus- ja valo-olosuhteet ovatkin täysin erilaisia. Biodieselin kohdalla hehtaarituoiton arviointi jäi vajavaisemmaksi, mutta senkin kohdalla tulokset osoittavat rapsibiodieselin jäävän merkittävästi palmuöljystä valmistettavalle verrokilleen.

Hehtaarituoiton ohella määrätyn biopolttoaineen tuotannon kannattavuutta pyrittiin kuvaamaan koko tuotantoprosessia peilaavalla energiasuhdeluvulla, joka ilmoittaa viljelyyn, jalostukseen sekä muuhun, kuten kuljetuksiin ja tuotantolaitosten rakentamiseen, käytetyn ja lopputuotteesta saadun energian suhteen. Bioetanolin kohdalla taulukko 10 esittää tuon luvun vaihtelevan noin kahden paikkeilla. Tuloksia analysoidessa käsitykseksi jäi, että ensimmäisen sukupolven menetelmillä tuotetun bioetanolin energiasuhdeluku on todellisuudessa hyvissäkin olosuhteissa todennäköisesti hieman alle kaksi ja realistisimpana pidän tanskalaistutkimuksen (Bentsen et al. 2006) lukemia, kun taas esimerkiksi brittiläinen tutkimus (Horne et al. 2003) vaikuttaa antavan hieman ylioptimistisen kuvan tuottosuhteesta. Vehnäbioetanoli lienee siis energiasuhdeluvultaan vain hieman maisista tuotettua verrokiaan parempi, mutta ero ei ensimmäisen sukupolven osalta ole merkittävä.

Rapsibiodieselin osalta energiasuhdeluvut näyttävät vehnäbioetanolia paremmilta ja vaadittu energiapanostus on vehnäbioetanolia pienempi hehtaaria kohti. Luvut eivät kuitenkaan ole merkittävän kilpailukykyisiä, jos niitä vertaa esimerkiksi sokeriruokoetanoliiin ja huomioi vehnäbioetanolia huomattavasti pienemmän hehtaarituoiton (taulukko 11). Näin biopolttoainetuotannon kokonaiskannattavuus joutuu edelleen pohdinnan alle ainakin ensimmäisen sukupolven menetelmillä.

Kokonaisuudessaan taulukon 13 esittämiin absoluuttisiin energiamääriin biopolttoaineen tuotannossa hehtaarilta, tulee suhtautua harkiten ja niitä tulee pitää enemmän suuntaa antavina. Varsinkin niiden vertaaminen keskenään on tulkinnanvaraista, koska tutkimukset eivät ole tehty täysin identtisiä metodeita käyttäen. Kokonaisuudessaan voi päätellä vehnäbioetanolin tuotannon vaativan enemmän energiapanostuksia hehtaaria, kuin rapsibiodieselin. Vehnäbioetanolitutkimusten välinen tarkastelu ei välttämättä ole kovin hedelmällistä. Se tuo esille lähinnä eron ensimmäisen ja toisen sukupolven tuotantotekniikoiden välillä (Bentsen et al. 2006), mutta tutkimusten suora vertaaminen on aina tulkinnanvaraista.

2. Miten biopolttoaineen tuotantokasvin viljelyn, kuljetuksen, jalostuksen ja käytön pää- ja sivuenergiavirrat jakautuvat?

Jalostuksen voidaan todeta olevan selvästi eniten energiaa kuluttava vaihe biopolttoaineiden tuotannossa. Osittain tästä syystä ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden energiasuhdeluvut ovat melko vaatimattomia ja mahdolliset parannukset tulevat tulevaisuudessa olemaan nimenomaan kiinni tuotantoprosessin kehityksestä, olettaen että raaka-ainekasvipohja pysyy suhteellisen yhtenevänä. Mahdolliset merkittävät energiatehokkuuden parannukset viljelytekniikoiden osalta vaikuttavat epätodennäköisiltä. Tanskalaistutkimus (Bentsen et al. 2006) esittää vehnäetanolin viljely/jalostus/kuljetus-suhteeksi 22 % - 76 % - 2 % ja brittiläistutkimus rapsibiodieselin osalta vastaavaksi suhteeksi 35 % - 61 % - 4 %. Edellä mainitut luvut eivät luonnollisesti absoluuttisia arvoja, mutta antavat selvän kuvan kokonaisuudesta. On tärkeää huomioda, että tässä yhteydessä puhutaan nimenomaan energiapanosten, ei esimerkiksi ympäristövaikutusten jakautumisesta.

Vehnän viljelyn vaatima energiapanostus puolestaan jakautuu pääasiallisesti käytetyn polttoaineen ja lannoitteiden välillä (Bentsen et al. 2006). Tanskalaistutkimus jättää torjunta-aineiden vaatimat energiapanostukset vähemmälle, toisin kuin brittiläinen verrokki (Horne et al. 2003), joka lohkaisee hyönteis-, sieni- ja kasvitorjunta-aineille 21 prosentin osuuden viljelyn vaatimuksista. Typpilannoite nähdään molemmissa tutkimuksissa tärkeimpänä lannoitteena, sen osuuden ollessa hieman enemmän, kuin kaliumilla ja fosforilla yhteensä (Horne et al. 2003).

Rapsibiodieselin osalta taulukko 14 osoittaa viljelyn energiavaatimusten koostuvan merkittävässä osin typpilannoitteesta, joka muodostaa koko tuotantoprosessissa merkittävimmän yksittäisen komponentin jalostuksessa tapahtuvan esteröinnin jälkeen.

Taulukko 14. Biodieselin valmistusprosessin energiapanostusten jakautuminen prosentuaalisesti (Horne et al. 2003).

esteröinti	35 %
N-lannoitus	24 %
öljyksi puristaminen	15 %
muu viljely ja sadonkorjuu	11 %
kuljetus, kuivaus ja varastointi	8 %
tuotantolaitos ja jakelu	4 %
muu jalostus	3 %

Samainen taulukko 14 esittää myös hyvin kokonaisuudessaan rapsibiodieselin valmistuksen energiapanostuksien kohdentumista. Ensimmäisen sukupolven biodieselin vaatima esteröinti vie noin kolmasosan kaikesta prosessiin käytettävästä energiasta. Toisen sukupolven tuotantoteknologiat saattavat mahdollistaa tämän vaiheen ohittamisen ja tätä tuoda kautta säästöä prosessin vaatimissa energiapanostuksissa.

Vehnäbioetanolin tapauksessa kuva 37 esittää parhaiten jalostuksen vaatimien energiapanostusten jakautumista ja osoittaa miten höyryn- ja sähköntuotannot noin 75 prosentin osuudella ovat käytännössä jalostuksen merkittävimmät osatekijät. Tätä taustaa

vasten olkien käyttöä prosessin yhteydessä höyryn- ja sähköntuotantoon voidaan pitää useassa tapauksessa hyvin perusteltuna ratkaisuna.

3. Biopolttoaineiden tuotantokasvien viljelyn, kuljetuksen, jalostuksen ja käytön kokonaisvaikutukset?

Kolmas tutkimusongelma asetti ehkä haastavimman kysymyksen pyrkiessään selvittämään biopolttoaineiden tuotantokasvien kokonaisvaikutuksia. Kysymys on laajuudeltaan melkoinen ja asettaa myös lisäkysymyksen, mitä näillä kokonaisvaikutuksilla tarkoitetaan. Itse näin vaikutukset laajempina, kuin pelkät ympäristövaikutukset. Keskittyminen pelkästään yhteen komponenttiin tuotantoketjussa ei anna luotettavia tuloksia, jos se irrotetaan kontekstistaan ja toisaalta koko tuotantoketjun arvioiminen asettaa valtavat haasteet. Taulukko 12 esittää arvioita biopolttoaineiden käytön kohdalla usein esille nostetusta hiilidioksidipäästöjen vähennyksestä ja vertailee eri biopolttoaineita keskenään. Tällainen tiettyyn komponenttiin perustuva vertailu on tietyllä luotettavuudella mahdollista ja kannattavaa. Tulokset eivät ole vehnäbioetanolin kannalta kovin mairittelevia, mutta toisaalta biodieselin edut nousevat ilmastonmuutosta ajatellen jo merkittävämmälle tasolle. Case study- tutkimuksena käytetty brittiläistutkimus (Horne et al. 2003) esittää rapsibiodieselin osalta selkeän arvion kasvihuonekaasupäästöjen suhteellisesta jakautumisesta (kuva 18). Esille nousee typpilannoitteen osuus, joka muodostaa lähes puolet kasvihuonekaasupäästöistä.

Biopolttoaineiden tuotantoketjujen ympäristövaikutuksia on käyty tarkemmin eritellen läpi ympäristökappaleessa, mutta täydellisen kokonaiskuvan muodostaminen on kansainvälisessä keskustelussakin ankaran debatin kohteena. Tutkielman ensisijaisina kohteina olleen vehnäbioetanolin ja rapsibiodieselin kohdalla tämä on vielä jossain määrin mahdollista, mutta silti täydellinen analyysi vaatisi muun muassa vaikutusten suhteuttamista globaaliin tilanteeseen, esimerkiksi sen kautta, kuljetetaanko biopolttoaineita tai niiden raaka-aineita pitkiä välimatkoja. Kokonaisvaikutuksiin liittyy paljon myös itse tuotantoprosessiin liittymättömiä tekijöitä poliittisista päätöksistä maailmanmarkkinahintoihin.

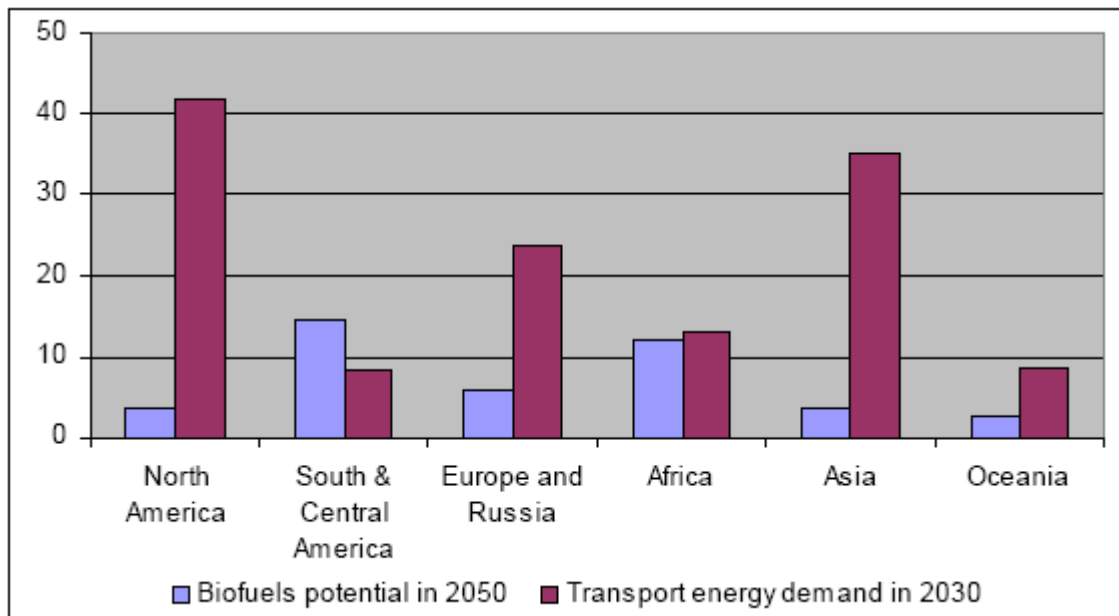
9. Yhteenveto

Biopolttoaineet voivat olla maailman liikenteen tulevaisuus. Tähän pakottaa jo fossiilisen öljyn rajallisuus. Epävarmuustekijöitä on kuitenkin biopolttoaineiden kohdalla useita kuten muun muassa todellinen aikataulu, käytettävät teknologiat, käytettävät raaka-aineet, raaka-aineiden saatavuus ja hankintatavat ja ehkä tärkeimpänä todellinen tuotantokapasiteetti verrattuna kulutukseen. Ratkaisut valtio- ja aluetasolla, kuten EU:ssa tai USA:ssa, ovat usein ennalta sidottuja tiettyihin tavoitteisiin, vaikka toteutustavat eivät välttämättä ole edes tiedossa. Tämä saattaa johtaa paradoksaaliseen tilanteeseen, jossa ympäristöystävälliseksi nähty biopolttoaine todellisuudessa kuormittaa ympäristöä, kun koko tuotantoketju huomioidaan. Biopolttoaineiden tuotanto ja tavoitteet ruokkivat toinen toisiaan luoden biopolttoaineille markkinoita, vaikka kannattavampiakin vaihtoehtoja olisi olemassa.

Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineteknologiat eivät ole olleet sellainen vastaus esitettyihin ympäristökysymyksiin mitä niiltä odotettiin. Toisaalta myös näitä teknologioita on ollut pakko kehittää jo kaupalliseen käyttöön, jotta ne mahdollistaisivat tulevaisuudessa laajamittaisen uusien sukupolvien tuotteiden tuomisen kuluttaja markkinoille. Biopolttoaineet ovat oikea askel kohti ympäristön kannalta parempia liikennepolttoaineita, fossiilisesta öljystä riippumattomuutta sekä korvaavia energian lähteitä, mutta ne sisältävät vielä kuten mainittua paljon kysymysmerkkejä. Toisaalta biopolttoaineiden väheksyminen ei ole kauas katsovaa toimintaa, vaikka tämä näkökulma on yleistynyt julkisessa keskustelussa viime aikoina.

Eri biopolttoaineiden väliset vertailut osoittavat sokeriruokoetanolin olevan sekä energiatalouden että ympäristön kannalta tällä hetkellä merkittävin ensimmäisen sukupolven biopolttoaine yhdessä palmuöljybiodieselin kanssa, jonka ympäristökuormituksesta tosin on myös eriäviä mielipiteitä. Tästä näkökulmasta tutkielman pääkohteina olleet rapsibiodiesel ja vehnäbioetanolit eivät päädy kovin hyvään valoon. Eri maissa valittuihin tuotantokasveihin vaikuttavat myös muut tekijät, kuin suhteellinen keskinäinen paremmuus. Esimerkiksi sokeriruohon viljely ei olisi mahdollista merkittävässä osassa teollisuusmaita.

Vaikka biopolttoaineiden valmistusteknologiat saataisiin kehittymään, niin että biopolttoaineiden valmistus ja käyttö olisi nykyistä huomattavasti kannattavampaa energiatalouden ja ympäristön kannalta, nousee ongelmaksi todennäköisesti maailman liikenteen valtava polttoaineen kulutus (kuva 52).



Kuva 52. Biopolttoaineiden ennustettu suhteellinen potentiaali 2050 ja liikenteen energiakysyntä 2030 (Doornbosch & Steenblik 2007).

Kauaskantoiset ennustukset ovat aina luotettavuudeltaan haasteellisia laatia, mutta nykyisen kaltaisilla liikennemäärillä koko liikenteen vaatiman polttoainemäärän tyydyttäminen lähitulevaisuudessa pelkästään biopolttoaineilla on todennäköisesti utopiaa. Se ei poista biopolttoaineiden monia positiivisia puolia, mutta auttaa asettamaan niiden potentiaalin perspektiiviin. Todellisten positiivisten ympäristövaikutusten aikaansaamiseksi ennen kaikkea liikennemäärien ja tätä kautta polttoaineen kulutuksen on vähennyttävä.

Lähteet

Agra Europe (2007a). Wheat to dominate EU biofuel output. 1.5. 2007.

Agra Europe (2007b) US biodiesel market to surpass EU soon. 3.5.2007.

Agra Europe (2007c) Ethanol industry growing at a phenomenal pace. 29.5.2007.

Agra Europe (2007d) Record Brazilian sugarcane crop eyed. 4.6.2007.

Ali, Y. & M. A. Hanna (1994). Alternative diesel fuels from vegetable oils. *Biosource Technology* 50:2, 153-163.

Ansø, N. & J. Bugge (2001). Pure Plant Oil: Clean Engine Fuel Today & Tomorrow. *Sustainable Energy News* 34, 14-16.

Aro-Heinilä, E., M. Sinkkonen & A. Vihma (2006). Rypsi biodieselin (RME) maatalantuotannon kannattavuus. MTT. MTT:n selvityksiä 115. 45 s. MTT Taloustutkimus, Helsinki.

BBC News (2007). Biofuels look to next generation. 28.7.2007.

<<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/5353118.stm>>.

Bailey, A. P., W.D. Basford., N. Penlington., J.R. Park., J.D.H. Keatinge., T. Rehman., R.B. Tranter & C.M. Yates (2003). A comparison of energy use in conventional and integrated arable farming systems in the UK. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97:1-3, 241-253.

Bentsen, N-S., C. Felby, & K. Hvid Ipsen (toim) (2006). Energy balance of second generation bioethanol production on Denmark. 45 s. IBUS-project. Denmark

Bioste Oy (2006). Nestemäisten biopolttoaineiden tuottamisen teknisten ja taloudellisten mahdollisuuksien selvitys. Evästä- ja Energiaa -hankkeen toteutettavuusselvityksen loppuraportti. 61 s.

Blottnitz von, H. & M.A. Curran (2006). A review of assessments conducted on bioethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life-cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 15:7, 607-619.

Boatman, N., H. McKay & D. Turley (2005). Environmental impacts of cereal and oilseed rape cropping in the UK and assessment of the potential impacts arising from cultivation for liquid biofuel production. *HGCA Research Review* 54. 119 s. Central Science Laboratory. HGCA. London.

Bourne, Joel. (2007). Green dreams. *National Geographic*. October 2007. 24.11.2007. <<http://magma.nationalgeographic.com/ngm/2007-10/biofuels/biofuels-p5.html>>.

Bouvar, F., S. His & A. Prieur-Vernat (2006). Biofuels and their environmental performance. *IFP. Panorama* 2007. 7 s.

Briggs, M. (2004). Widescale Biodiesel Production from Algae. University of New Hampshire Biodiesel Group, Physics Department. 7.10. 2007. <http://www.unh.edu/p2/biodiesel/article_alge.html>.

Brown, L. (2006). Biofuels: Renewable energy or environmental disaster in making. 23 s. Director of the Worldwatch Institute.

Börjesson, P. I. I. (1996). Energy analysis of biomass production and transportation. *Biomass and Bioenergy* 11: 4, 305-318.

Campbell, C. J. (2004). Oil and Gas Liquids 2004 Scenario. 14.7.2007. <<http://www.peakoil.net/uhdsg/Default.htm>>.

CIEP (2004). Study on Energy Supply Security and Geopolitics. ETAP programme. 279 s. Institute for International Relations, Clingendael, Hague, Netherlands.

Clements, D. R., S.F. Weise., R. Brown., D.P. Stonehouse., D.J. Hume & C.J. Swanton (1995). Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 52:2-3, 119-128.

Correa do Lago, Andre Aranha (2006). The Role of Brazil in the Sugar and Ethanol Market -The Impact of Biofuels on Commodity Markets. Head Division of Environmental Policy and Sustainable Development. Ministry of Foreign Relations. Seminaariesitys. Brysselissä 23. - 24. 10.2006.

Rathke, G.-W. & W. Diepenbrock (2006). Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and previous crop. *European Journal of Agronomy* 24:1, 35-44.

Doornbosch, R. & R Steenblik (2007). Biofuels: Is the cure worse than the disease. Round Table on Sustainable Development. 57 s. OECD, Paris.

Driel van, Jan. (2007). Focus on the Global Palm Oil Industry. Regional Director Europe, Middle East and Africa. Golden Hope plantations. Seminaariesitys. Brysselissä 25.-26.9.2007.

Edwards, R., J-F. Larivé., V. Mahieu & P. Rouveirolles (2006). Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. Well to tank Report. Version 2b. EUCAR, CONCAWE & JRC/IES. 265 s. European Commission, Joint research center.

EFMA (2006). Forecast of Food, Farming and Fertilizer Use – 2006 to 2016. 193 s. European Fertilizer Manufacturers Association.

Elsam, Energi E2, Elkraft System & Eltra (2000). Life Cycle Assessment of Production of Electricity and Co-generated heat In Denmark. Main Report.

Elsam (2005). Comparative study on possible advantages of establishing bioethanol production adjacent to major power plants. Elsam Engineering. report 1993:16, 19-65.

EngineerLive (2007). New biodiesel process overcomes hydrogen technical problems. 5.7.2007. <<http://www.engineerlive.com/european-processengineer/renewables/14269/new-biodiesel-process-overcomeshydrogen-technical-problems.shtml>>

EU (2000). Energiahuoltostrategia Euroopalle - Vihreä kirja. 114 s. Euroopan yhteisöjen virallisten julkaisujen toimisto. Luxemburg.

EU (2003). Biopolttoainedirektiivi 2003/30/EC. 5 s. European Commission, Bryssel.

EU (2005). Green Paper. Improving the mental health of the population: Towards a strategy on mental health for the European Union. 30 s. European Communities, Bryssel.

EU- komissio (2005). Biomass Action Plan. 47 s. European Commission, Bryssel.

EU- komissio (2006). An EU Strategy for Biofuels. 29 s. European Commission, Bryssel.

Europe Daily (2007). EU downplays "biofuelled" food shortages. 16.5.2007.

Eurostat (2007). Europe in figures – Eurostat yearbook 2006-2007. 357 s. Office for Official Publications of the European Communities. Luxemburg.

Evans, R (2005). Reducing soil erosion and the loss of soil fertility for environmentally-sustainable agricultural cropping and livestock production systems. *Annals of Applied Biology* 146:2, 137-146.

Farmit (2007). Rapsin kasvatusohjelma. 18.7.2007.
<http://www.farmit.net/farmit/fi/03_kasvinviljely/02_kasvuohjelma/13_rypsi/rapsi.jsp>.

Fediol (2008). World production data. < <http://www.fediol.be/2/main1.php> > 7.1.2008.

Finfood (2007). Vehnä. 24.7.2007.

<<http://www.finfood.fi/finfood/ffom.nsf/0c0aa8187130c1d24225685f0075031b/aa5d2f637bb2ef9ac22564f40038c215?OpenDocument>>

Gover, M.P., S.A, Collings,, G.S. Hitchcock., D.P. Moon & G.T. Williams (1996). Alternative road transport fuels – a preliminary life-cycle study for the UK. Report R92, Volume 2. 193 s. Energy Technology Support Unit. Hartwell. UK.

Hietanen, J. (2007). Vaihtoehtoiset polttoaineet ja moottoritekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. 51 s. Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma. Auto- ja työkonetekniikka. Tutkintotyö..

Horne, R.E., N.D. Mortimer & M.A. Elsayed (2003). Energy and carbon balances of bioethanol production: biodiesel and bioethanol. The International Fertiliser Society. no. 510. 56 s.

HS (2007). Valtion Altia luopui bioetanoli-tehtaan rakentamisesta. 24.4.2007.

IEA. (2004). Biofuels for transport - An international perspective. OECD. 216 s. Chirpat, Paris.

IEA (2007a). Biofuel production. Energy technology essentials. January 2007. 4 s.

IEA (2007b). International Energy Annual 2005: World Energy Overview: 1995-2005. 12.10.2007. <<http://www.eia.doe.gov/iea/>>.

Ikonen, M., N-O. Nylund., P. Aakko., J. Laurikko., T. Eklund & S. Mäkelä (2000). Katsaus ajoneuvoliikenteen polttoainevaihtoehtoihin. VTT. VTT Energian raportteja 18/2000. 130 s.

Ilmastonmuutos (2007). Sanasto. 13.8.2007.

<<http://www.ilmastonmuutos.info/fi/cfmldocs/index.cfm?ID=1138>>.

IOI Group (2007). 23.11.2007. Plantation Statistics.

<http://www.ioigroup.com/business/busi_plantstats.cfm>.

IPCC (2007). Climate Change 2007. Mitigation of Climate Change. Contribution of working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 841 s. Cambridge University Press, New York.

Kaltschmitt, M. & G.A. Reinhardt (1997). Renewable energy sources, basis, processes and ecological balance. Biomass and Bioenergy 12:2, 121-134.

Kiviranta, T. & V. Siitonen (2005). Bioetanolin tuotanto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 11 s. Kemiantekniikan osasto. Teknillisen kemian laboratorio.

Laaksonen, K. (2006). Öljyn korkea hinta pakottaa energiavaihtoehtoihin. PPT-katsaus 2/2006. 7.6.2006.

Lechon, Y., H. Cabal. H, Cabal & R, Saez (2005). Life cycle assesment of wheat and barley crops for bioethanol production of Spain. Agricultural Governance and Ecology 4:2, 113-121.

Lovins, A.B., K. Datta., O-D. Bustnes., J.G. Koomey & N.J. Glasgow (2005). Winning the Oil Endgame - Innovation for Profits, Jobs and Security. 306 s. Rocky Mountain Institute. Snowmass Creek. Colorado.

Maniatis, Kyriakos (2007). Overview of EU activities in biofuels. IEA biofuels chairman. seminaariesitys Symposium on biofuels- seminaarissa 27-29.7.2007.

Mäkinen, T. (2005). Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöketjut – kasvihuonekaasupäästöt. Erikoistutkija VTT. ClimBus- seminaari. 7.10.2005.

Mäkinen, T., K. Sipilä & N-O. Nylund (2005). Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa. VTT Prosessit. 108 s. Valopaino oy, Helsinki.

Hampel Oil Distributors (2007). Environmental & safety information. 12.9.2007.
<<http://www.hampeloil.com/powerdiesel/fuelfact.html#ENVIRONMENTAL%20&%20SAFETY%20INFORMATION>>.

Marris, Emma (2006). Drink the best and drive the rest. Nature 444, 654 - 670.

National Biodiesel Board (2007). Cold flow impacts. 6 s. Jefferson City, MO.

Nupponen, J. (2005). Mikä markkinoita oikein riivaa?. Refine. 01/2005. 1 s.

Oak Ridge National Laboratory (2007). Bioenergy Conversion Factors. 20.8.2007.
<<http://bioenergy.ornl.gov>>.

Ohlström, M. & I. Savolainen (2005). Teknologiaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen - Taustatyö kansallisen ilmastostrategian päivitystä varten. KTM Julkaisuja. 182 s. Edita Publishing oy, Helsinki.

Oil World (2006a). Palm Oil Price Rallying to 2-Year High Owing Prospective Strong Demand from Biofuel Industry. Oil World Weekly 29:49, 246- 247.

Oil World (2006b). World Supply, demand and Price Forecasts for Oilseeds, Oils and Meals. Oil World Weekly 38:49. 469 s.

OPEC (2007). OPEC facts and figures. 18.7.2007.
<<http://www.opec.org/home/PowerPoint/Reserves/OPEC%20share.htm>>.

Patzek, T-W (2006). Thermodynamics of the Corn-Ethanol Biofuel Cycle. Department of Civil and Environmental Engineering. 105 s. University of California. Berkeley.

Pearson, P.N. & M.R. Palmer (2000). Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years. Nature 406, 695-699.

Powlson, D.S., A.B. Riche & I. Shiels (2005). Biofuels and other approaches for decreasing fossil fuel emissions from agriculture. *Annals of Applied Biology* 146:2, 193-201.

Reinhard, R., J. Weber & M. Shelman (2005). Mid-Missouri Energy. 30 s. Harvard Business School.. N1-706-016.

Richards, I.R. (2000) Energy balances in growth of oilseed rape for biodiesel and of wheat for ethanol. BABFA. Levington agriculture report. 38 s. Levington Agriculture Ltd, Levington Park.

Righelato, R & D.V. Spracklen (2007). Carbon Mitigation by Biofuels or by Saving and Restoring Forests. *Science* 317: 5840. 902 s.

Rinne, J. (2007). Bioetanolin tuotannon yksityis- ja yhteiskuntataloudellinen kannattavuus Suomessa. Helsingin yliopisto. 39 s. Taloustieteen laitos. Ympäristöekonomia.

Rosenberger, A., H-P. Kaul,, T. Senn & W. Aufhammer (2001). Improving the energy balance of bioethanol production from winter cereals: the effect of crop production intensity. *Applied Energy* 68:1, 51-67.

Saarinen, J. (2007). Liikenteen toisen sukupolven biopolttoaineiden kehitysohjelma. Kauppa- ja teollisuusministeriö. BioRefine-seminaari. 29.5.2007

SEI (2004). Liquid Biofuels Strategy Study for Ireland. Sustainable Energy Ireland. s. 105. Begley Hutton, Dublin.

Siitonen, J. & S. Stade (2006). Nesteen biodieselprosessi. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 10 s. Kemiantekniikan osasto. Teknillisen kemian laboratorio.

Takala, S. & K. Valkama (2006). Biodieselin valmistus kasviöljyistä vaihtoesteröintimenetelmällä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 11 s. Kemiantekniikan osasto. Teknillisen kemian laboratorio.

Tekes (2007). Pioneering a new generation of biodiesel. 5.7.2007.

<http://www.tekes.fi/eng/news/uutis_tiedot.asp?id=4462>.

Turley, D.B., H McKay & N. Boatman (2005). Environmental impacts of cereal and oilseed rape cropping in the UK and assessment of the potential impacts arising from cultivation for liquid biofuel production. Central Science Laboratory. HGCA Research Review 54:4, 119 s.

Turley, D.B. (2006). Environmental impacts of cereal and oilseed cropping and potential for biofuel production. Central Science Laboratory. 10 s. HGCA. Sand Hutton, York.

Turley, D.B., N.D. Boatman, G. Ceddia, D. Barker & G. Watola (2003). Liquid biofuels – prospects and potential impacts on UK agriculture, the farmed environment, landscape and rural economy. DEFRA, Organics, Forestry and Industrial Crops Division. Central Science Laboratory. 73 s. Sand Hutton, York.

Tyson, K.S. & R.L. McCormick. (2006). Biodiesel handling and use guidelines. U.S. Department of Energy. 69 s. National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO.

Työterveyslaitos (2007). OVA- luettelo. 21.9.2007.

<http://www.portofhamina.fi/resources/kympe/6_kemikaaliluettelo.pdf>.

USEPA (2002). A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions. Draft Technical Report. 126 s. Assessment and Standards Division, Office of Transportation and Air quality, U.S. Environmental Protection Agency.

VRMO (2005). Participative LCA on biofuels. Ministry of Transport, Public Works and Water Management. GAVE-project. 145 s. Netherlands.

Walwijk van, M. (2005). Biofuels in France: 1990-2005. Premia-report. 53 s. Premia.

World Watch (2006). Biofuels for Transportation – Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st. Century. Extended Summary. 38 s. Washington, D.C..

Glastra, R., W. Richert & E. Wakker (2002). Oil Palm Plantations and Deforestation in Indonesia: What Role Do Europe and Germany Play. WWF. 56 s. Octopus Media, Dreieich, Germany.

WTRG Economics (2008). Oil price history and analysis. 4.1.2008.
<<http://www.wtrg.com/prices.htm>>.

Yokayo biofuels (2007). 11.7.2007. A History of the Diesel Engine.
<www.ybiofuels.org/bio_fuels/history_biofuels.html>.